

LASERKEILAUS JA PISTEPILVEN KÄSITTELY YDINVOIMARAKENTAMISESSA

Veera Kari

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2011
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talonrakennustekniikan
suuntautumisvaihtoehto
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talorakennustekniikan suuntautumisvaihtoehto

Työn ohjaaja: TkL Olli Saarinen
Työn tilaaja: A-Insinöörit Suunnittelu Oy, ohjaaja rak.ins Kari Niemi

KARI, VEERA: Laserkeilaus ja pistepilven käsittely ydinvoimarakentamisessa

Opinnäytetyö 82 sivua
Huhtikuu 2011

Tässä työssä tutkittiin laserkeilauksen käyttömahdollisuuksia ja siitä saatavan pistepilven käsittelyä. Työssä pyrittiin selventämään ydinvoimarakentamisen peruseräitä ja pohtimaan laserkeilauksen soveltuvuutta ydinvoimarakentamiseen.

Laserkeilauksessa kohde mitataan lasersäteellä. Näin saadaan aikaiseksi miljoonien pisteiden pistepilvi. Pistepilven avulla pystytään mallintamaan maastomalleja ja rakennemalleja, joissa jokainen piste on koordinoitu. Tämä mittaustapa on hitaasti yleistynyt Suomessa.

Laserkeilaus toteutettiin valittuun kohteeseen ja siitä saatua pistepilveä työstettiin. Pistepilven käsittelyyn etsittiin käyttötarkoitukseltaan sopiva ohjelma. Laserkeilauksella tuotettu pistepilvi rajattiin ja karsittiin niin, että pistepilven tiedostokoko oli mahdollisimman järkevä ja tarpeettomat pisteet poistettiin. Työssä valittiin suunnitteluohjelmia, joihin pistepilven siirtoa kokeiltiin.

Laserkeilaus suoritettiin Trimble VX Spatial Stationilla, joka on takymetrin ja laserkeilaimen yhdistelmä. Kohteena toimi Tampereella Vuoltsun korttelissa sijaitseva sisäpiha. Pistepilven käsittelyyn valittiin Trimblen RealWorks 6.5.2, josta tiedon siirtoa kokeiltiin AutoCAD- ja Tekla Structures -ohjelmiin.

Opinnäytetyötä tehtäessä huomattiin alan yleinen kiinnostus laserkeilaukseen ja ohjelmistojen kehitys entistä monipuolisempaan pistepilven käsittelyyn. Opinnäytetyön lopputuloksissa päädyttiin siihen, että ohjelmiston valinnassa tärkeässä roolissa ovat laserkeilauksessa käytetty laitteisto, pistepilven laatu ja jatkokäytön tarve. Opinnäytetyön tuloksena saatiin myös huomio siitä, että mallintaminen ei aina välttämättä ole tehokain tapa käyttää pistepilveä, vaan pistepilveä voi käyttää myös sellaisenaan hyödyksi suunnittelussa. Opinnäytetyön perusteella voidaan myös todeta, että laserkeilaus sopii ydinvoimarakentamisen eri osa-alueille hyvin.

Asiasanat: Laserkeilaus, pistepilvi, ydinvoima.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Civil Engineering
Option of Structural Engineering

Thesis supervisor: Olli Saarinen (Lic.Sc.)
Co-operating company: A-Insinöörit Suunnittelu Oy, supervisor Kari Niemi (B.Sc)

KARI, VEERA: Laser Scanning and Point Cloud Processing in Nuclear Construction

Bachelor's thesis 82 pages
April 2011

This bachelor's thesis studies laser scanning and the opportunities that point clouds offers in the field of nuclear construction. Laser scanning is relatively new and rather slowly generalized measurement method. Laser scanning produces millions of points that are located by coordinates. This result is called point cloud. Point clouds can be used in different stages of research and design. For an example different terrain models and composition models can be constructed using the point cloud and suitable software. Key idea of this thesis was to study how these things can be used in the context of nuclear construction.

The chosen location was laser scanned and the resulted point cloud was used. The most suitable program was selected to manipulate the point cloud. Unnecessary points were removed from point cloud to trim the file size to be as small as possible. Also the designing program was chosen to test the transfer between the laser scanning and design software.

Laser scanning was done by Trimble VX Spatial Station surveying instrument. Target of the measurement was an inner court in city block called Vuoltsu in Tampere. RealWroks 6.5.2 was used to edit the point cloud. Point cloud data was transferred from RealWorks to Tekla Structures and AutoCAD.

This thesis highlighted the general interest in laser scanning and software development of the associated programs to enable even richer point cloud manipulations. Outcome of this thesis was that there are several main keys that should be considered when choosing the programs. These are: used laser scanning equipment, the quality of the point cloud and the purpose of point cloud. This thesis also pointed out that modelling the cloud isn't always the smartest way to use point cloud. The point cloud can be used in various ways during design without modelling. According to this thesis laser scanning is viable option to measurement in nuclear construction.

Key words: Laser scanning, point cloud, nuclear construction.

ALKUSANAT

Laserkeilaus ja pistepilven käsittely olivat minulle täysin tuntemattomia käsitteitä ryhtyessäni tekemään tätä opinnäytetyötä. Samoin oli aiheeseen liittyvä ydinvoimarakentaminen. Hyppäsin siis kertahetkellä mukavuusalueeni ulkopuolelle ja ryhdyin suurelta tuntuvaan urakkaan. Työni edetessä yritin jatkuvasti rajata aihealuetta, sillä laserkeilauksen ja pistepilven käsittelyn maailmat osoittautuivat varsin laajoiksi. Yllätyin työni aikana positiivisesti tällä kentällä työskentelevien ihmisten avuliaisuudesta. Minua opinnäytetyössäni auttaneiden ihmisten lista on pitkä ja he kaikki ansaitsevat suuret kiitokset.

Erityisesti haluan esittää kiitokseni A-Insinöörit Suunnittelu Oy:lle ja työni ohjaajille Olli Saariselle sekä Kari Niemelle. Kiitos mielenkiintoisesta aiheesta, tuesta ja luottamuksesta, jota olette minulle antaneet. Suuret kiitokset myös A-Insinöörien ohjelmistopäällikölle Arto Möttöselle, joka piti minut aina ajan tasalla ja järjesti kaikki toiveeni lähes ennen kuin ehdin niitä edes toivoa.

Kiitän myös A-Insinöörit Geotesti Oy:n Jukka Lahikaista ja Sauli Toivosta, sekä Geotrim Oy:n Kari Immosta, laserkeilaukseen liittyvien asioiden järjestämisestä. Ydinvoimarakentamiseen liittyvistä asioista kiitän A-Insinöörien silta- ja taitorakenneyksikön Harri Kalliota. Lisäksi kiitän Terrasolid Oy:n Esa Haapa-ahoa kaikesta hänen antamastaan avusta ja tuesta.

Ja viimein, kiitos ihanalle perheelleni, sillä ilman teitä en koskaan olisi uskaltanut haastaa itseäni näin!

Tampereella huhtikuussa 2011

Veera Kari

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
ALKUSANAT	4
1 JOHDANTO	7
2 YDINVOIMARAKENTAMINEN	8
2.1 Ydinvoiman peruseriaatteen	8
2.2 Ydinvoimalat Suomessa	11
2.2.1 Loviisan ydinvoimalaitos	11
2.2.2 Olkiluodon ydinvoimalaitos	12
2.2.3 Fennovoiman suunnitteilla oleva ydinvoimalaitos	13
2.2.4 Ydinjätteen loppusijoituksen tutkimustila ONKALO	14
2.3 Ydinvoimalat muualla	15
2.4 Ydinvoimarakentamisen säädökset Suomessa	17
3 LASERKEILAUUS	19
3.1 Laserkeilaus mittamenetelmänä	19
3.2 Laserkeilauksen edut	19
3.3 Laserkeilausprojektin eri vaiheet	20
3.4 Laserkeilauksen kehityksen seuraaminen	21
3.5 Laserkeilauksen käyttö ydinvoimarakentamisessa	22
4 LASERKEILAIMIEN LUOKITTELU	23
4.1 Luokittelu peilijärjestelmän mukaan	23
4.2 Luokittelu mittausmenetelmän mukaan	23
4.3 Luokittelu käyttötarkoituksen mukaan	25
4.4 Maa-laserkeilainten luokittelu toimintaperiaatteen mukaan	26
5 PISTEPILVI JA SEN KÄSITTELY	27
5.1 Pistepilvi	27
5.2 Pistepilven laatu	27
5.3 Pistepilven intensiteetti	28
5.4 Pistepilvien yhdistämistavat	29
6 PISTEPILVEN KÄYTTÖ	31
6.1 Pistepilven mallintaminen	31
6.1.1 Viivamalli	31
6.1.2 Kolmioverkko	32
6.1.3 Pintamalli	33
6.1.5 Tietomalli	34
6.1.6 Virtuaalimalli	35
6.2 Pistepilven muu käyttö	35
6.2.1 Pistepilven käyttö sellaisenaan	35
6.2.2 Pistepilven käyttö kuvan kautta	38
6.2.4 Koneohjaus	39

	6
7 MITTAUSKOHDDE JA -KALUSTO	40
7.1 Mittauskohde	40
7.2 Laserkeilaimen valinta	43
8 MITTAUS	45
8.1 Mittausjärjestelyt	45
8.2 Trimble VX Spatial Stationilla mittaus	46
9 OHJELMISTOVALINNAT	52
9.1 Pistepilven käsittelyyn tarkoitettun ohjelman valinta.....	52
9.2 Pistepilven jatkokäyttöön soveltuvan ohjelman valinta	53
10 MITTAUSAINEISTON KÄSITTELY.....	55
10.1 Tiedon siirto ja aineistojen yhdistäminen.....	55
10.2 Pistepilven karsiminen	58
10.3 Ortokuva.....	59
10.4 Kolmioverkko.....	59
10.5 Pohjakuvan ja leikkauksien luominen	61
11 AINEISTON SIIRTO SUUNNITTELUOHJELMAAN	62
11.1 Aineiston siirto Tekla Structuresiin.....	62
11.2 Aineiston siirto AutoCADIin.....	64
12 RAVINTOLAN LASERKEILAUS.....	65
12.1 Mittauskohde	65
12.2 Mittauskalusto	67
12.2 Mittausjärjestelyt ja mittaus	68
12.3 Aineisto	69
13 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	71
LÄHDELUETTELO.....	78

1 JOHDANTO

Laserkeilaus on suhteellisen uusi ja Suomessa hitaasti yleistynyt mittaustapa. Laserkeilauksessa kohde mitataan lasersäteen avulla. Keilauksesta saadaan mittausaineistoksi miljoonista pisteistä koostuva pistepilvi. Pistepilvessä jokaisen yksittäisen pisteen sijainti on tunnettu ja koordinoitu. Pistepilvi muodostaa pohjan erilaisiin tutkimus- ja suunnitteluvaiheisiin esim. maasto- ja rakennemallien mallintamiseen. Laserkeilaus toimii siis älykkään tietomallintamisen pohjana, jossa pistepilven avulla mallinnetaan informaatiota sisältävä 3D-malli. Aineiston käyttömahdollisuudet eivät kuitenkaan rajoitu pelkkään mallintamiseen, vaan sille on mahdollista löytää myös muita sovelluskohteita. Pistepilveä ei siis välttämättä vielä osata käyttää luonnollisena osana suunnittelu- ja rakennusprosessin eri vaiheissa.

Työn tarkoituksena oli tutkia pistepilven jälkikäsitteilyä ja selvittää pistepilven käyttömahdollisuuksia. Työssä kartoitettiin myös pistepilven jatkokäsittelyn eri mahdollisuuksia ja erilaisia mallintamisvaihtoehtoja. Lisäksi oli tarkoitus tutkia laserkeilauksen soveltuvuutta ydinvoimarakentamiseen, koska laserkeilauksen on todettu soveltuvan hyvin haastaviin ja laajoihin kohteisiin. Eduskunta hyväksyi kesällä 2010 valtioneuvoston periaatepäätökset kahden uuden ydinvoimareaktorin rakentamisesta. Päätösten perusteella ydinvoimarakentaminen tulee Suomessa jatkumaan. Pitkän tauon jälkeen myös muualla maailmassa suuntaus näyttäisi olevan ydinvoimarakentamista suosiva. Ydinvoimarakentaminen on tarkoin säädeltyä ja vaativaa rakentamista, joka pyrkii hyödyntämään uusinta teknologiaa.

Työn painopiste suunnattiin pistepilven käsittelyyn ja siihen soveltuvan ohjelmiston valintaan. Pistepilven käsittelyn lisäksi pyrittiin tutkimaan pistepilven siirtomahdollisuuksia suunnitteluohjelmaan mallinnusta varten.

Opinnäytetyön esimerkkikohteena oli Tampereen Vuoltsun korttelin sisäpiha. Kohteen laserkeilauksen suoritti A-Insinöörit Geotesti Oy. Laserkeilaus tehtiin Geotrim Oy:n omistamalla Trimblen laserkeilausominaisuuksilla varustetulla takymetrillä.

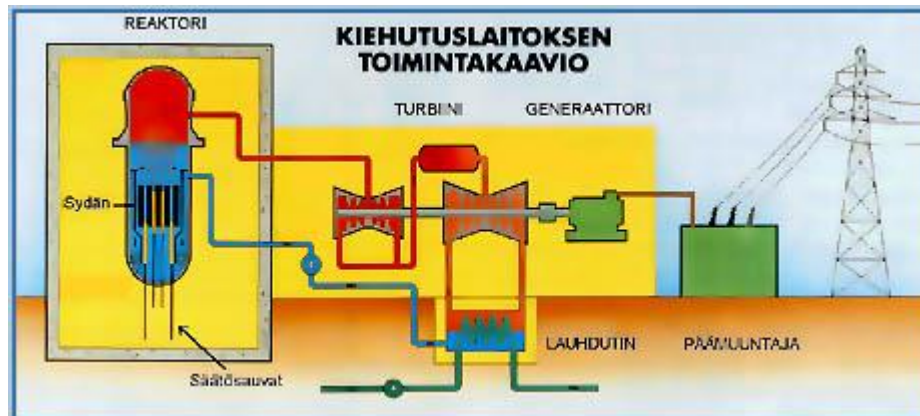
2 YDINVOIMARAKENTAMINEN

2.1 Ydinvoiman peruseriaatteen

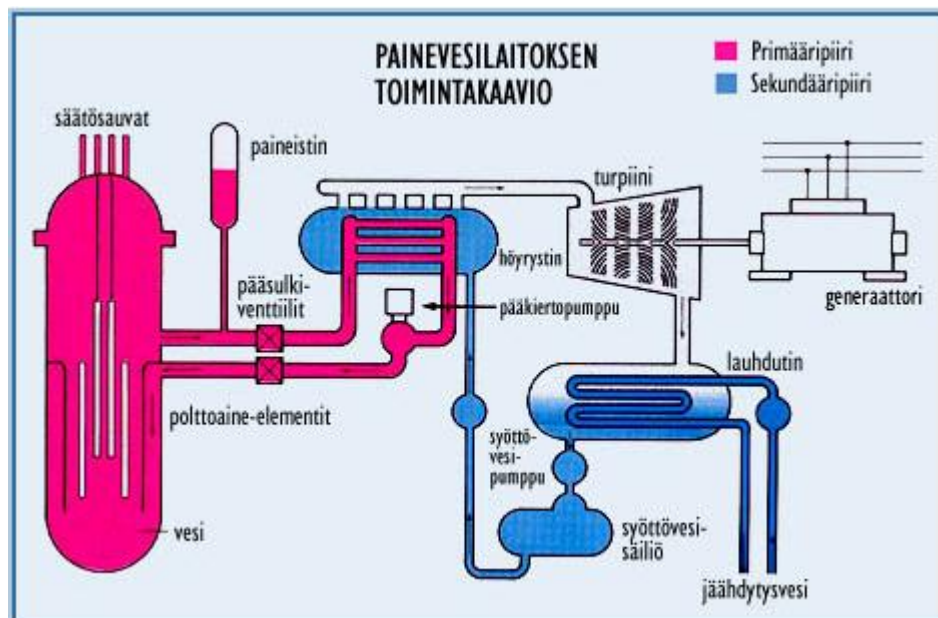
Ydinvoimalla on tuotettu sähköä kaupalliseen tarkoitukseen aina 1950-luvulta asti. Uusien reaktoreiden rakentaminen hiipui kuitenkin 1970-luvun lopulla ja alkoi elpyä vasta 2000-luvulle tultaessa. Maailmassa on noin 440 kaupallista ydinvoimareaktoria 31:ssä eri maassa. Tämän lisäksi ydinreaktoreita on yhteensä 140 laivassa ja sukellusveneessä. Tutkimusreaktoreita on yhteensä 56 maassa. Tällä hetkellä noin 14 prosenttia maailman energiasta tuotetaan ydinvoimalla. (World Nuclear Association 2010b; Ydinenergia ja Suomi 2010, II-kansi.)

Yksinkertaisesti selitettynä ydinvoimala tuottaa sähköä lämmittämällä vettä turbiinien läpi kulkevaksi höyryksi. Höyry pyörittää turbiineja luoden liike-energiaa, joka muutetaan generaattorilla sähköenergiaksi. Veden höyrystäminen tapahtuu atomiydinten hallitulla ydinreaktiolla, yleisimmin uraanin U-235 isotoopin fissioreaktiolla. Reaktiossa atomi hajoaa ja aiheuttaa reaktorissa ketjureaktion, jonka seurauksena muutkin uraaniatomit fissioituvat. Ydinvoimaloiden reaktoreissa käytetään hidastetta ketjureaktion toiminnan takaamiseen ja reaktion hallitsemiseen. (World Nuclear Association 2010a; Perustietoa Olkiluoto 3:sta 2009, 9.) Ydinvoimareaktorit voidaan jaotella monin eri kriteerein. Alla oleva jako on tehty hidastinaineen mukaan neljään eri luokkaan:

- Kevytvesireaktorit: näihin kuuluu kiehumusvesireaktori (BWR) (kuvio 1.) ja painevesireaktori (PWR) (kuvio 2.). Näitä reaktoreita on eniten käytössä.
- Grafiittihidasteiset reaktorit: näihin kuuluu Britanniassa käytettävät kaasujäähdytteiset reaktorit (AGR) ja Venäjällä käytössä olevat parannellut versiot Tšernobylin onnettomuusreaktorin kaltaisesta grafiittijäähdytteisestä reaktorista (RBMK)
- Raskasvesireaktorit: näihin kuuluu esim. Kanadassa kehitetty paineistettu raskasvesireaktori (CANDU). Se ei vaadi uraanin rikastamista, vaan raskasta vettä.
- Kehittyneet reaktorit: näihin kuuluu esim. nopeiden neutronien reaktori (FNR). Nämä reaktorit ovat vielä tutkimuksen alla, eivätkä ole laajalti käytössä. (World Nuclear Association 2010a.)



KUVIO 1. Kiehutusvesireaktorilaitoksen periaatteellinen toimintakaavio (BWR) (STUK 2009a).



KUVIO 2. Painevesireaktorilaitoksen periaatteellinen toimintakaavio (PWR) (STUK 2009b).

Yleisimmin käytössä olevat kevytvesireaktorit on siis jaettu kiehutusvesireaktoreihin ja painevesireaktoreihin. Kiehutusvesireaktoreissa on aktiivinen jäähdyte myös turbiinipuolella. Niissä ei ole sekundääripiiriä, toisin kuin painevesireaktoreissa. Painevesireaktoreiden primääripiirissä on huomattavasti suurempi paine kuin kiehutusvesireaktoreiden primääripiirissä (PWR:ssä noin 175 bar ja BWR:ssä noin 75 bar) (Kallio 2011.)

Reaktorit voidaan jakaa myös neljään eri sukupolveen (engl. generation) kehitysvuoden mukaan:

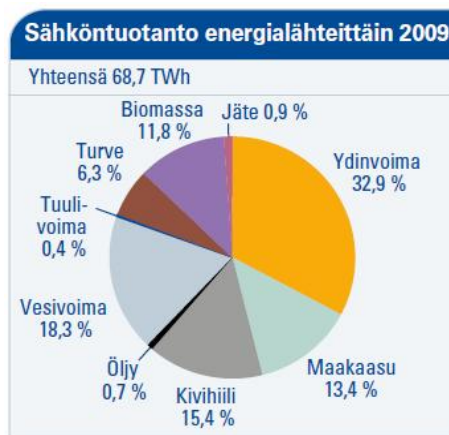
- Ensimmäisen sukupolven (generation I) muodostavat 1950–1960-luvuilla kehitetyt reaktorit. Englannin ulkopuolella näitä reaktoreita ei ole enää toiminnassa.
- Toisen sukupolven (generation II) muodostavat yleisimmin käytössä olevat reaktorit. Myös Suomen käynnissä olevat reaktorit lukeutuvat näihin.
- Kolmannen sukupolven (generation III, III+) muodostavat kehitetyt ja parannelut versiot toisen sukupolven reaktoreista. Ensimmäiset tämän sukupolven reaktorit (III) ovat olleet käytössä Japanissa vuodesta 1996, ja OL3:n rakenteilla oleva reaktori (EPR) on ensimmäinen käyttöön tuleva III+ sukupolven reaktori.
- Neljännen sukupolven (generation IV) muodostavat reaktorit, jotka ovat vielä suunnittelun alla. Näitä reaktoreita tullaan näkemään käytössä aikaisintaan vuoden 2020 jälkeen. (World Nuclear Association 2011; Areva.)

Yllä oleva jaottelu ei ota kantaa esim. turvallisuusjärjestelyihin. Muun muassa turvallisuusjärjestelyjen mukaan tehtyjä jakoja on kuitenkin myös olemassa. Tapoja jakaa reaktoreita erilaisiin kategorioihin ja generaatioihin on siis monia muitakin. Jaottelut saattavat toisinaan olla myös sekavia ja keskenään risteäviä. (Kallio 2011.)

Tulevaisuudessa ydinvoimaa olisi tarkoitus pystyä tuottamaan fuusioreaktorin avulla (nuclear fusion power). Fuusioreaktoreita tutkitaan ja kehitetään koko ajan. Arvioiden mukaan ensimmäinen sähköntuotantoon pystyvä reaktori olisi toiminnassa 2050-luvulla. (Euroopan komissio.)

2.2 Ydinvoimalat Suomessa

Suomessa on tällä hetkellä neljä käytössä olevaa ydinvoimalaitosyksikköä. Niistä kaksi yksikköä sijaitsee Loviisassa ja toiset kaksi Olkiluodossa. Yhdessä ne tuottavat Suomen sähköntuotannosta noin kolmanneksen (kuvio 3.). Ydinvoimalla tuotetusta energiasta suurin osa menee teollisuuden käyttöön. (Fortumin Loviisan voimalaitos, 2; Hyvinvointia ydinsähköllä 2009, 8-9; Ydinenenergia ja Suomi 2010, II-kansi.)



KUVIO 3. Sähköntuotanto 2009 (Hyvinvointia ydinsähköllä 2009, 9).

2.2.1 Loviisan ydinvoimalaitos

Suomen ensimmäisen ydinvoimalaitoksen rakentaminen aloitettiin Loviisassa vuonna 1971. Ydinvoimalaitoksen rakennutti Fortum. Hanke toteutettiin monikansallisesti, noin 50 prosentin kotimaisuusasteella. Pääkomponentit, kuten reaktori, turbiini ja generaattorit, hankittiin Neuvostoliitosta. Turvallisuusjärjestelmät, valvontajärjestelmät ja automaatiojärjestelmät hankittiin länsimaista. Fortumin omistaman ydinvoimalaitoksen voimalaitosyksikkö Loviisa 1 otettiin käyttöön helmikuussa 1977. Loviisa 2 otettiin käyttöön marraskuussa 1980. Molemmat voimalaitosyksiköt ovat tyypiltään venäläisvalmisteisia (VVER-440) painevesireaktoreita (PWR). (Rämö 2010, 4; Suomalaista ydinvoimaa vuodesta 1977 2010; Fortumin Loviisan voimalaitos, 2.)

Loviisan ydinvoimalaitoksen nettotuotanto oli vuonna 2009 noin 8 TWh. Tällä vuosituotannolla pystytään kattamaan noin kymmenesosa Suomen sähkönkulutuksesta. Ydinvoimalaitoksessa on tehty automaatiotekniikan turvallisuuden ja käytettävyyden

parantamiseen tähtäävä uudistamisprojekti. Paranneltuna Loviisa 1:n käyttö lupa on voimassa vuoden 2027 ja Loviisa 2:n käyttö lupa vuoden 2030 loppuun. Fortum Power and Heat Oy haki lupaa uuden ydinvoimalaitosyksikön rakentamiseen Loviisaan, mutta valtioneuvosto hylkäsi 6.5.2010 Fortumin hakemuksen. (Ydinenergia ja Suomi 2010, 7; Fortumin Loviisan voimalaitos, 2; Eduskunta.)

2.2.2 Olkiluodon ydinvoimalaitos

Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2

Teollisuuden Voima Oyj (TVO) alkoi rakentaa ydinvoimalaa Eurajoen Olkiluotoon vuonna 1974. Voimalaitosyksikkö Olkiluoto 1 (OL1) aloitti toimintansa syyskuussa 1978 ja Olkiluoto 2 (OL2) helmikuussa 1980. Laitosyksiköt ovat ruotsalaisten toimittamia. Olkiluoto 1:sen rakennustyöt tehtiin monen eri alihankkijan yhteistyöllä (mm. STAL-LAVAL, ASEA AB, työyhtymä Atomirakennus). Olkiluoto 2:sen rakennustyöt tehtiin suomalais-ruotsalaisena yhteistyönä (Jukola-yhtymä). Voimalaitosyksiköt ovat identtisiä, ja ne ovat ruotsalaisvalmisteisia kiehutavesireaktoreita (BWR). (Ydinvoimalaitosyksiköt OL1 ja OL2 2007, 3-4.)

Olkiluodon voimalaitoksen nettotuotanto vuonna 2009 oli 14,5 TWh:ta, mikä kattaa noin kuudesosan Suomessa tarvittavasta sähköenergiasta. Olkiluodossa on Loviisan tapaan tehty huoltoja ja uudistuksia. Ydinvoimalaitosyksiköiden tavoitteellinen käyttöikä on ainakin 60 vuotta. (Ydinvoimalaitosyksiköt OL1 ja OL2 2007, 3-4; Ydinvoimalaitosyksikön rakentaminen Olkiluotoon 2008, 8; Rämö 2010, 4; Ydinenergia ja Suomi 2010, 7-8.)

Olkiluoto 3

Vuonna 2005 aloitettiin Olkiluoto 3:n (OL3) rakentaminen Olkiluodon saaren länsipäähän. Sen arvioidaan valmistuvan kaupalliseen käyttöön vuonna 2013. Olkiluoto 3:n rakentaa AREVA NP:n ja Siemensin muodostama konsortio. Ranskalainen AREVA vastaa reaktorilaitoksen rakentamisesta ja saksalainen Siemens turbiinilaitoksen rakentamisesta. Työt tehdään avaimet käteen -periaatteella. TVO vastaa itse esim. työmaan alue- ja louhintatöistä. (Perustietoa OL3:sta 2009, 5-7; Rämö 2010, 4.)

Voimalaitosyksikkö OL3:n reaktori on tyypiltään kolmannen sukupolven eurooppalainen painevesireaktori (EPR). Laitoksen suunniteltu käyttöikä on 60 vuotta. Ydinvoimalaitosyksikön arvioitu vuotuinen sähköntuotanto noin 13 TWh. (Perustietoa OL3:sta 2009, 7; Ydinvoimalaitosyksikkö Olkiluoto 3 2010, 3, 58.)

Olkiluoto 4

TVO on hakenut lupaa neljännen ydinvoimalaitosyksikön rakentamiseen. Eduskunta myönsi 1.7.2010 TVO:lle luvan rakentaa Olkiluoto 4:n (OL4). Uusi yksikkö olisi suunnitelmien mukaan valmis 2010-luvun lopulla. OL4:n suunniteltu tekninen toiminta-aika on 60 vuotta. Uuden ydinlaitosyksikön laitosvaihtoehtoja on viisi kappaletta: Toshiba kiehutusvesireaktori ABWR, GE Hitachin kiehutusvesireaktori ESBWR, KHNP:n painevesireaktori APR 1400, Mitsubishin painevesireaktori APWR ja AREVAN painevesireaktori EPR. (Ydinvoimalaitosyksikön rakentaminen Olkiluotoon 2008, 10–11.)

2.2.3 Fennovoiman suunnitteilla oleva ydinvoimalaitos

Suomalaiselle energia-alalle perustettiin uusi yritys, Fennovoima Oy, vuonna 2007. Se on valmistellut ydinvoimalaitoshanketta aina perustamisvuodestaan asti. Fennovoima sai luvan uuden ydinvoimalaitosyksikön rakentamiseen samaan aikaan, kuin TVO sai oman lupansa (1.7.2010). Ydinvoimalaitoksen sijoituspaikka ei vielä tätä opinnäytetyötä tehtäessä (kevät 2011) ollut päätetty, vaan se on tarkoitus valita kesään 2011 mennessä. Vaihtoehtoina sijoituspaikoiksi on Pohjois-Pohjanmaalla Pyhäjoki ja Lapissa Simo. (Fennovoima 2010; Fennovoima 2011b.)

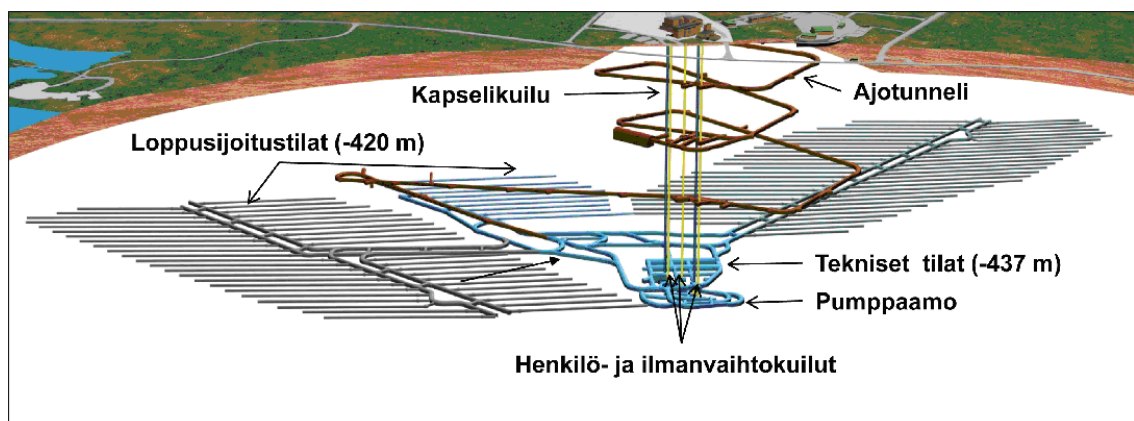
Maarakennustyöt on tarkoitus aloittaa valitulla paikkakunnalla vuonna 2012, ja ydinvoimalaitoksen on suunniteltu valmistuvan vuoteen 2020 mennessä. Fennovoima ei vielä ole valinnut reaktoritoimittajaa. Se tulee olemaan joko Areva tai Toshiba. Arevalla on reaktorivaihtoehtoina EPR painevesireaktori tai Kerena kiehutusvesireaktori. Toshiba vaihtoehtona on kiehutusvesireaktori ABWR. (Fennovoima 2011a; Fennovoima 2010.)

2.2.4 Ydinjätteen loppusijoituksen tutkimustila ONKALO

Ydinvoimaloiden polttoaineena käyttämä uraani muuttuu käytön aikana radioaktiiviseksi ydinjätteeksi. Ydinenergialain (990/1987) pykälän 6 a mukaan ydinjäte tulee käsitellä, varastoida ja loppusijoittaa Suomen omalla alueella. Ydinjätehuollon vastuu kuuluu ydinvoimayhtiöille. Teollisuuden Voima Oyj ja Fortum Power and Heat perustivat vuonna 1995 yhtiön nimeltä Posiva. Yhtiön tarkoituksena on huolehtia ydinjätteen loppusijoituksen tutkimisesta ja käytännön toteutuksesta. Eduskunta hyväksyi 1.7.2010 Posivan hakemuksen loppusijoituslaitoksen rakentamisesta laajennettuna (Kapseleissa kallioon 2008, 5; Ydinenergialaki; Eduskunta.)

Ydinjätteen loppusijoituspaikaksi on valittu Eurajoen Olkiluoto, johon on louhittu tutkimustunneli nimeltään ONKALO (kuvio 4.). Se koostuu ajotunnelista, sekä kapselihenkilö- ja ilmanvaihtokuiluista. Tunnelissa sijaitsee loppusijoitustilat, tekniset tilat ja pumppaamo. ONKALossa sijaitsee myös tutkimustaso ja demotilat. Tunnelin avulla saadaan tietoa loppusijoituskallion olosuhteista ja ominaisuuksista. Loppusijoituslaitos koostuu kahdesta osasta, maanpäällisestä kapselointilaitoksesta ja syvällä kalliossa olevasta loppusijoitustilasta.

Varsinainen loppusijoitus on tarkoitus aloittaa vuonna 2020. Tunnelin loppusijoitussyvyydelle on tarkoitus sijoittaa ydinjätettä kuparikapseleissa, joita ympäröi bentonititissavi. Nämä toimivat vapautumisesteinä, samoin kuin tunneleiden täyttömaa. Myös peruskallio lasketaan yhdeksi vapautumisesteeksi. ONKALOn ajotunneli ulottui 11.2.2011 437 metrin syvyyteen ja sen pituus oli 4632 metriä. Poistoilma-, tuloilma- ja henkilökuilut olivat 290 metrin syvyydellä. (Kapseleissa kallioon 2008, 12; Posiva.)



KUVIO 4. ONKALO (Posiva).

ONKALOON on tällä hetkellä tarkoitus sijoittaa Olkiluodon ja Loviisan voimalaitoksista syntyvät ydinjätteet. Fennovoiman suunnitteilla olevan ydinvoimalan ydinjätteen loppusijoituspaikka on vielä auki. Fennovoima toivoo yhteistyötä ydinjäteyhtiö Posivan kanssa. Jos yhteistyö ei onnistu, on Fennovoima valmis suunnittelemaan oman loppusijoituslaitoksensa. (Fennovoima 2011c.)

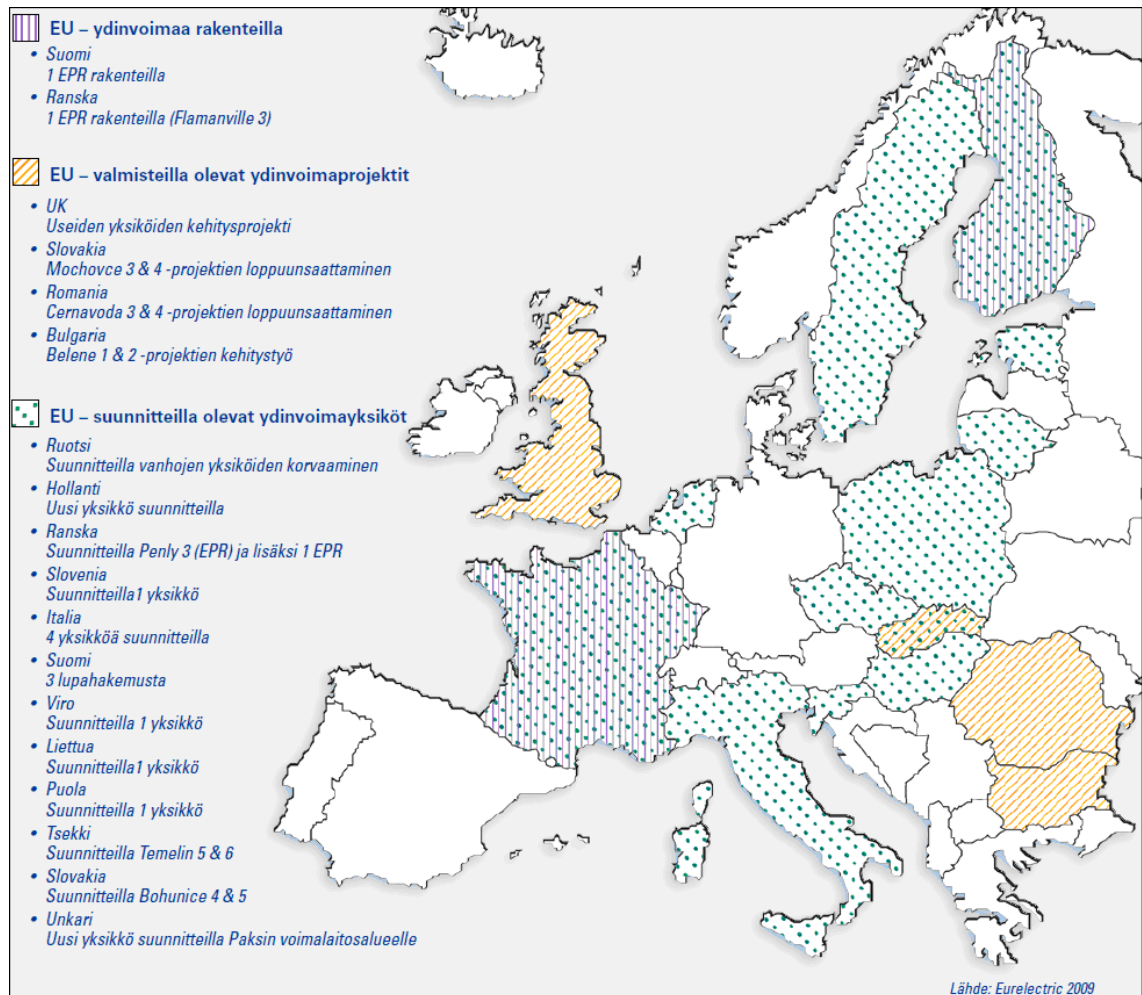
2.3 Ydinvoimalat muualla

Euroopan unionissa ydinsähköä käytettiin 31 prosenttia sähkön kokonaiskulutuksesta. Euroopassa ei juuri ole rakennettu ydinvoimaloita 1980-luvun jälkeen, mutta nyt valmisteilla ja suunnitteluasteella on useita voimalakohteita (kuvio 5.). Vuoden 2010 alussa rakenteilla oli yli 53 ydinvoimalaa ja suunnitteilla yli 100 reaktoriyksikköä. (Hyvinvointia ydinsähköllä 2009, 6; Virtanen 2009, 8; Ydinenergia ja Suomi 2010, II-kansi.)

Jo ennestään ydinvoimaa käyttäneet maat ovat aktivoituneet käyttönsä pidentämiseen tähtääviin uudistuksiin, korvaamaan vanhoja voimaloita uusilla, sekä rakentamaan kokonaan uusia voimaloita. Ydinvoima on alkanut kiinnostaa myös sellaisia maita, jotka eivät aikaisemmin ole käyttäneet ydinvoimaa sähköntuotantomuotona. Kiinnostuksen nousuun ovat vaikuttaneet mm. Euroopan unionin päätökset päästöjen vähentämisestä, sekä uusiutuvien energialähteiden osuuden ja energiatehokkuuden lisäämisestä. Myös Aasiassa ja Yhdysvalloissa on jälleen kiinnostuttu ydinvoimarakentamisesta. Yhdysvaltojen päätökset ydinvoimarakentamisesta ovat tärkeitä ja vuosi 2011 tulee olemaan tärkeä investointipäätösten kannalta. (Hyvinvointia ydinsähköllä 2009, 6-8; Virtanen 2009, 8-9.)

Kiinnostusta ydinvoimarakentamiseen löytyy siis ympäri maailman. Ydinvoimalan rakentaminen vaatii kuitenkin paljon resursseja, suunnittelua ja osaamista. Näin ollen kaikilla ydinvoimarakentamisesta kiinnostuksensa ilmaiseilla mailla ei ole realistisia edellytyksiä lähteä käynnistämään omaa ydinvoimalaitosohjelmaa. Kaikkien maiden luonnonolosuhteetkaan eivät ole ydinvoimalan rakentamista ajatellen suotuisia. Kansainvälisen atomienergiajärjestön IAEA:n arvion mukaan parinkymmenen vuoden päästä maailmassa tulee kuitenkin olemaan nykyisten 31 ydinvoimamaan lisäksi 5-20 uutta ydin-

voimamaata. STUKin pääjohtaja Jukka Laaksonen arvioi luvun olevan lähempänä viittä. (Hyvinvointia ydinsähköllä 2009, 6; Virtanen 2009, 8.)



KUVIO 5. EU:n ydinvoimarakentamisen tilanne (Hyvinvointia ydinsähköllä 2009, 8).

Ydinvoimarakentamisen tulevaisuuteen tulee vaikuttamaan 11.3.2011 Japaniin iske-
neen maanjäristyksen ja siitä seuranneen tsunamin aiheuttama ydinvoimaonnettomuus
Fukushiman ydinvoimalassa. Tätä opinnäytetyötä kirjoittaessa onnettomuuden laajuus-
desta ei vielä ollut selkeää kuvaa ja näin ollen sen vaikutuksiin oli hyvin vaikea ottaa
kantaa.

2.4 Ydinvoimarakentamisen säädökset Suomessa

Ydinvoimarakentaminen on Suomessa luvanvaraista ja tarkoin säädeltyä. Ydinvoimalan rakentamista varten on haettava valtioneuvostolta periaatepäätöstä. Hakija julkistaa yleispiirteisen selvityksen laitoshankkeesta, sen arvioituista ympäristövaikutuksista ja turvallisuudesta. Tämän selvitys tehdään kauppa- ja teollisuusministeriön ohjeiden mukaisesti ja se tulee olla sen tarkastama. (Ydinenergialaki, 11 §.)

Kauppa- ja teollisuusministeriön on hankittava säteilyturvakeskuksen alustava turvallisuusarvio ennen periaatepäätöksen tekemistä. Lisäksi tarvitaan lausunto ympäristöministeriöltä, ydinlaitoksen sijaintikunnan kunnanvaltuustolta ja naapurikunnilta. Periaatepäätös etenee eduskuntaan, joka voi jättää sen sellaisenaan voimaan tai kumota sen. Tämän lisäksi tarvitaan mm. lupa rakentaa ydinvoimala ja lupa ydinlaitoksen käyttämiseen. (Ydinenergialaki, 11 §.)

Ydinrakentamiseen liittyy useita tiukkoja laatuvaatimuksia. Suomessa ydinenergialaki (990/1987) määrittää ydinvoimarakenteiden ja rakentamisen turvallisuustason. Ydinenergia lain pykälän 7r mukaisesti Säteilyturvakeskus (STUK) asettaa yksityiskohtaiset turvallisuusvaatimukset, joilla ydinenergialaissa asetettu turvallisuustaso on saavutettavissa. Säteilyturvakeskuksen julkaisemista ydinvoimalaitosohjeista (YVL-ohjeet) poikkeaminen vaatii erikseen osoituksen lain täyttymisestä ja soveltuvuudesta, sekä säteilyturvakeskuksen hyväksynnän. (STUK.)

Näitä sääntöjä on siis ydinvoimarakentajan noudatettava. (Ydinenergialaki; STUK 2009c.) Ydinvoimalaitosohjeet ovat uudistumassa. Opinnäytetyön tekemisen aikaan ohjeista oli olemassa luonnos/kommenttiversiot. Uusien YVL-ohjeiden on tarkoitus valmistua niin, että seuraavat rakennettavat ydinvoimalat pystytään tekemään niiden mukaisesti. (STUK; Kallio 2011.)

Uusien YVL-ohjeiden luonnosvaiheen sisällysluettelo käsittää seuraavat osa-alueet:

- YVL A: Ydinvoimalaitoksen sijaintipaikka, johtamisjärjestelmät ja rakentamistoiminta jne.
- YVL B: Ydinvoimalaitoksen turvallisuusjärjestelmien suunnittelu, turvallisuuden arviointi ja suojarakennus jne.
- YVL C: Ydinvoimalaitoksen rakenteellinen säteilyturvallisuus ja säteilymittaukset, työntekijöiden säteilyturvallisuus ja säteilyaltistuksen seuranta ja ympäristön säteilyvalvonta jne.
- YVL D: Ydinkulkuvalvonta, käytetyn ydinpolttoaineen käsittely ja ydinjätteiden loppusijoitus jne.
- YVL E: Ydinvoimalaitosten mekaanisten laitteiden ja rakenteiden rakennesuunnitelmat, Ydinvoimalaitoksen rakennukset ja rakenteet ja ydinlaitoksen sähkö- ja automaatiolaitteet jne. (STUK.)

Säädöstöä on siis runsaasti, ja Suomessa ydinvoimaloiden rakentamisessa on ollut pitkä tauko ennen OL3:en rakennustöiden aloitusta. Tämä näkyy mm. rakentajien asenteissa. Vaikka rakentajat ovat ammatillisesti kokeneita, on heidän taitonsa keskittynyt tavallisiin työmaihin. Ydinvoimarakentamisen laatuvaatimukset ovat tulleet monelle yllätyksenä. Tämä lienee eräs syy Olkiluoto 3 -hankkeen rakentamisen viivästymiseen. Tavanomaisesti hyväksyttävät laitteet ja rakenteet eivät välttämättä täytäkään vaatimuksia ydinvoimarakentamisessa esim. ydinvoimalaonnettomuuden varalta. (Öster 2009, 10–11; Kallio 2011.)

3 LASERKEILAUS

3.1 Laserkeilaus mittamenetelmänä

Laserkeilaus, englanniksi laser scanning, on nopea ja tarkka tapa mitata haluttuja kohteita ja pintoja. Mittalaite kerää ympäristöstä mittatarkkaa tietoa koskematta sitä. Laserkeilain lähettää lasersäteen, jonka avulla mitataan kohteen etäisyys keilaimesta. Mitatun matkan ja lasersäteen vaaka- ja pystysuuntaisten lähtökulmien avulla lasketaan mitatuille pisteille koordinaatit. Etäisyyden mittaukseen käytettävä toimintatapa riippuu keilaimen tekniikasta. Laserkeilauksen lopputuotteena on näiden lasersäteiden tuottamasta informaatiosta koostettu pistepilvi, jossa jokaisella pisteellä on siis oma koordinaattinsa ja intensiteettinsä. (Joala, 2006, 1.)

Laserkeilauksen kehitys on alun perin ollut lähtöisin ulkomaiden sotilaallisista tarpeista. Tarkoituksena on ollut mallintaa maanpintaa ja rakennuksia helikopterista saadun datan avulla. (Lehtonen 2010, 12.) Maastokartoitusta ja helikopterista suoritettuja laserkeilauksia on Suomessa tehty vuodesta 1998 asti (Suominen 2007, 21). Suomalaiselle rakennustyömaalle laserkeilaus tuotiin vuonna 2001. Keilaukseen liittyvä tutkimus- ja kehitystyö on Suomessa aloitettu kuitenkin jo vuonna 1997. Ohjelmistopuolella Terrasolid Oy on kehittänyt laserkeilausdatan käsittelyyn soveltuvia ohjelmia jo vuodesta 1996 asti. (Ruohonen 2007, 8; Lehtonen 2010, 12; Geodeettinen laitos.)

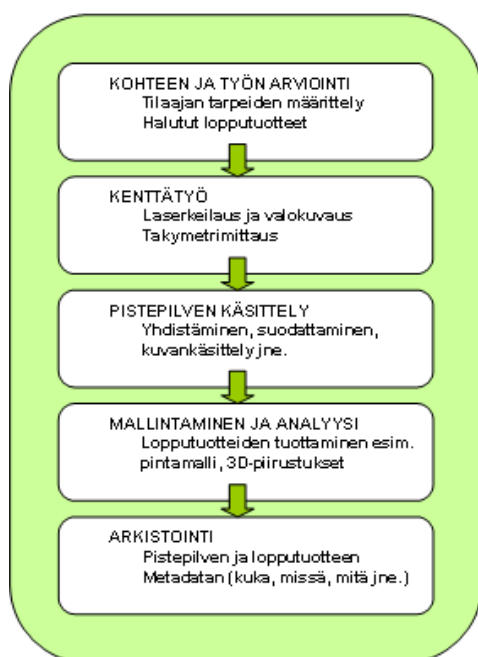
3.2 Laserkeilauksen edut

Laserkeilauksen etuina muihin mittaamenetelmiin verrattuna on nopeus, tarkkuus, turvallisuus ja aineiston nopea siirto lähtöaineistoksi. Kohteesta saadaan nopeasti paljon kolmiulotteista tietoa. Laitteistosta riippuen muutamassa minuutissa voidaan mitata jopa miljoonia pisteitä, jotka yhdessä muodostavat kolmiulotteisen pistepilven. Tämän pistepilven avulla kohde pystytään mallintamaan erilaisia ohjelmia hyväksikäyttäen 3D-malliksi. (Joala 2003, 2006, 1; Hyyppä & Hyyppä 2007, 7; Koski 2007 24–26.)

Laserkeilauksessa mitattavan kohteen luokse ei tarvitse päästä, joten kohde pystytään mittaamaan siihen koskematta. Tämä lisää laserkeilaimen soveltuvuutta vaikeasti lähestyttäviin ja geometrialtaan haastaviin kohteisiin. Etäältä tapahtuva mittaus parantaa mittalaitetta käyttävien henkilöiden työturvallisuuden tasoa. Itse mittaustapahtuman lisäksi laserkeilaus helpottaa laajojen ja yksityiskohtaisten mallien tekemistä. Kolmiulotteisen tiedon kerääminen vaatii tarkkoja työkaluja. Perinteisin menetelmin mallin tekeminen kolmiulotteiseksi saattaa olla hankalaa ja työlästä.. (Joala 2003, 2006, 5; Koski 2007 24-26; Hyyppä et al. 2009, 18.)

3.3 Laserkeilausprojektin eri vaiheet

Laserkeilaus kokonaisuutena sisältää erilaisia vaiheita, jotka vaihtelevat projektista riippuen. Keilaustapa ja kalusto määrittellään työn tilaajan tarpeiden, sekä haluttujen lopputulosten mukaan. Varsinaisen kohteessa tapahtuvan laserkeilauksen lisäksi työn vaiheisiin kuuluu tyypillisesti kuvion 6. mukaisesti pistepilven käsittely, mallintaminen, analyysi ja arkistointi. (Heiska 2009, 34.) Työn eri vaiheilla on usein omat osaajansa. Laserkeilaus ja siitä saadun aineiston käsittely onkin yleensä eri ammattilaisten yhteistyötä. Projektin eri osa-alueiden ymmärtäminen helpottaa työn kokonaisuuden onnistumista.



KUVIO 6. Laserkeilausprojektin eteneminen mukaillen kaaviota lähteestä Heiska 2009.

3.4 Laserkeilauksen kehityksen seuraaminen

Laserkeilauslaitteet ja pistepilvien käsittelyyn tarkoitetut ohjelmistot kehittyvät koko ajan. Niistä pyritään tekemään entistä nopeampia, halvempia ja helppokäyttöisempiä. Opinnäytetyön tekijä pyrki pysymään koko opinnäytetyön tekemisen ajan selvillä kehityksen vaiheista ja laserkeilauksen asemasta suomalaisessa rakentamisessa. Onnistuakseen tässä opinnäytetyön tekijä osallistui erilaisiin tapahtumiin, jotka käsittelivät laserkeilaamista sekä pistepilven käsittelyä. Tapahtumia oli opinnäytetyön tekemisen aikana useita, mikä kertonee laserkeilauksen tämän hetkisestä nosteesta. Opinnäytetyön tekijä osallistui ainakin seuraaviin tilaisuuksiin:

- Vianova Systems Finland Oy:n 15.6.2010 järjestämään AutoCAD Civil 3D 2011 esittelytilaisuuteen Helsingissä (mm. pistepilvien hyödyntämistä AutoCAD Civil 3D ohjelmassa).
- Profox Companies Oy:n ja Autodesk Ltd:n 7.9.2010 järjestämään laserkeilausseminaarin Helsingissä (mm. esitys laserkeilauksen viimeisimmistä mahdollisuuksista ja mallinnuksesta Autodesk-ympäristössä).
- Geotrim Oy:n 9.9.2010 järjestämään laserkeilainten esittelytilaisuuteen Geotes-tin varikolla Tampereella (mm. Trimblen laitteiston ja RealWorks -ohjelman esittelyä).
- Terrasolid Oy:n 14–15.12.2010 järjestämiin Terra-käyttäjäpäiviin Helsingissä (mm. laseraineistojen käyttö infrastruktuurisuunnittelussa ja Terrasolidin laserpistepilvien käsittelyyn tarkoitettujen ohjelmien uudet ominaisuudet).
- Vianova Systems Finland Oy:n 16.2.2011 järjestämään AutoCAD tietoisuuteen Tampereella (mm. Pistepilven hyödyntäminen ja koneohjausmallien luonti)
- Geostar Oy:n 16.3.2011 järjestämään Faron laserkeilausdemoon Tampereella Työväenyhdistyksen omistamissa tiloissa (tilan laserkeilaus ja aineiston yhdistäminen ohjelmassa).

Lisäksi opinnäytetyöntekijä vieraili Olkiluodossa OL3:n rakennustyömaalla ja pääsi Posivan ONKALON työmaatiloihin kuulemaan ONKALON laserkeilauksesta ja pistepilvien hyödyntämisestä.

3.5 Laserkeilauksen käyttö ydinvoimarakentamisessa

Laserkeilausta käytetään kohteissa joista tarvitaan kolmiulotteista ja tarkkaa tietoa nopeasti. Laserkeilausta käytetään tyypillisesti mm. tuotantolaitoksissa, arvorakennuksissa, kirkoissa, silloissa, teissä, tunneleissa, maanmittauskohteissa ja vaikeasti tavoitettavissa kohteissa. Soveltuvuus on siis hyvä erikoisemmissa ja vaativammissa kohteissa, joissa tavanomainen mittautapa ei anna tarvittavaa tietoa, tai se on liian hidas. (Joala 2003, 2006.)

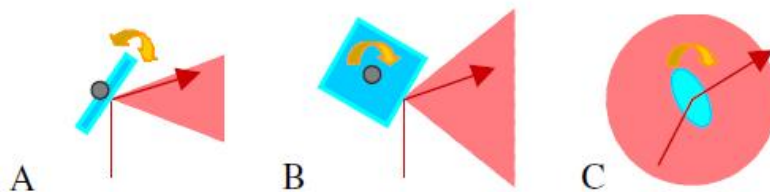
Suomalaisessa ydinvoimarakentamisessa laserkeilausta on käytetty ainakin OL 3:n rakentamisaikana. Pistepilvidataa on tähän mennessä käytetty esim. tunneleiden louhimisen apuna. (Kallio 2011.) Posivan rakenteilla olevassa ydinjätteen loppusijoituksen tutkimustilassa, Onkalossa, laserkeilausta on käytetty paljon. Matti Lähdemäki Posivalta kertoo, että laserkeilauksia on tehty aikavälillä 05/2009 – 08/2010 keskimäärin 4,25 kertaa kuukaudessa. Keilauksia on tehnyt Prismarit Oy Zoller+Fröhlich Imager 5006i-laserkeilaimella. Keilauksen avulla tuotettua materiaalia ovat työssään käyttäneet aktiivisesti ainakin suunnittelijat. Myös STUK on hyödyntänyt keilausdataa mm. louhinnan toteuman todentamiseen ja geologit ovat hyödyntäneet sitä tutkimuksissaan. Matti Lähdemäki ajattelee, että laserkeilaus on erittäin hyvä mittausmenetelmä, etenkin dokumentointia ajatellen. (Lähdemäki 2010.)

4 LASERKEILAIMIEN LUOKITTELU

Laserkeilaimet luokitellaan eri perusteiden ja ominaisuuksien mukaan. Laitteet voidaan jakaa kahteen ryhmään teknisten ominaisuuksien, eli peilijärjestelmien mukaan. Mittausmenetelmän perusteella laserkeilaimet voidaan jakaa kahteen pääryhmään ja käyttötarkoituksen mukaan kolmeen alaryhmään. (Joala 2003, 2006.)

4.1 Luokittelu peilijärjestelmän mukaan

Laserkeilauslaitteen peilijärjestelmä tuottaa keilausnäköymän ja mittaus tapahtuu järjestelmän suuntaaman säteen avulla. Laserkeilaimet voidaan jakaa kahteen ryhmään peilijärjestelmän toteutuksen mukaan, oskilloiviin ja ympäripyöriviin. Oskilloivat peilit tuottavat pieniin kohteisiin soveltuvan kapean keilauskulman. Pyörivä peilijärjestelmä jaetaan edelleen polygonipeileihin, joissa keilauskulma on yleensä alle 90° , ja vinopeileihin, joissa keilauskulma on periaatteessa 360° (laitteen runko tuottaa rajoituksia) (kuvio 7.). (Kukko 2005, 6-7.)



KUVIO 7. Peilijärjestelmät: A Oskilloiva, B Polygoni, C Vinopeili. (Kukko 2005, 6).

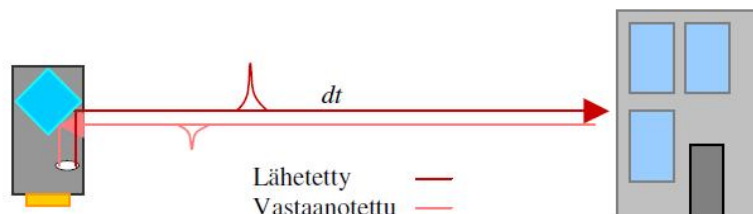
4.2 Luokittelu mittausmenetelmän mukaan

Laserkeilaimet voidaan jakaa kahteen isompaan ryhmään käytettävän etäisyysmittausmenetelmän mukaan. Nämä ryhmät ovat valon kuluaikaan perustuvat keilaimet (pulsilaser) ja vaihe-eroon perustuvat keilaimet (jatkuva-aaltainen laser). (Joala 2003, 2006.)

Pulssilaserkeilain

Pulssilaserin toiminta perustuu keilaimesta lähtevän laserpulssin kulku-aikaan. Laserkeilain lähettää mittaustapahtumassa lasersädepulssin, joka heijastuu takaisin mitattavasta pinnasta (kuvio 8.). Laite mittaa valon kulkuajan avulla pinnan etäisyyden laitteesta. Laite laskee kuinka kauan aikaa säteeltä kuluu kulkiessa laitteesta kohteeseen ja takaisin. Lähtökulmien ja matkan avulla voidaan jokaiselle pisteelle laskea koordinaatit. (Joala 2006, 2003; Kukko 2005, 6-7.)

Järjestelmä tallentaa myös pisteen intensiteetti-arvon, eli tiedon palautuneen pulssin voimakkuudesta. Tähän vaikuttaa myös pinnan ominaisuudet. Laserpulsseja lähetetään eri suuntiin ja näin saadaan aikaiseksi mitattavan kohteen kolmiulotteinen näkymä ns. pistepilvi. Kulku-aikaan perustuvat laserkeilaimet ovat hitaampia kuin vaihe-eroon perustuvat laitteet, mutta pystyvät mittaamaan tarkasti ja tiheästi pitkiäkin matkoja. (Joala 2006, 2003; Kukko 2005, 6-7.)

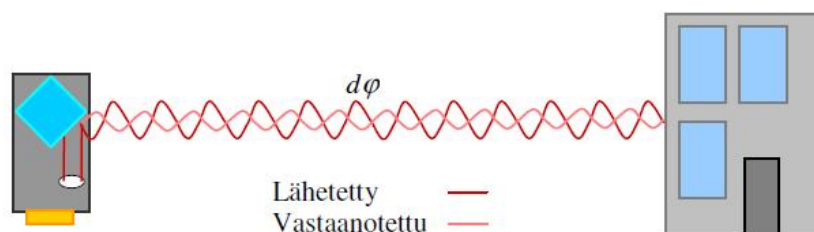


KUVIO 8. Pulssilaserkeilaimen toimintaperiaate (Kukko 2005, 7).

Vaihe-erolaserkeilain

Vaihe-eroon perustuvissa, jatkuva-aaltoisissa laserkeilaimissa matka lasketaan lähetetyn ja vastaanotetun säteilyn vaihe-eron kautta. Laserkeilain lähettää tällöin pulssin sijasta jatkuvaa, intensiteetiltään monimuotoista aaltomuotoa olevaa lasersädettä. Jatkuva-aaltoinen lasersäde heijastuu mitattavasta pinnasta (kuvio 9.) ja lähetetyn ja vastaanotetun signaalin vaihe-ero mitataan. Tämän avulla saadaan ratkaistua kantoaallon kokonaislukutuntematon. Kohteen etäisyyden laskennassa käytetään vaihe-eroa ja kokonaislukutuntematonta.

Kolmiulotteisen pistepilven muodostus tapahtuu samalla tavalla kuin valon kulku aikaan perustuvilla laitteilla. Vaihe-eroon perustuvat keilaimet toimivat parhaiten lyhyemmällä väleillä (alle 80 m). Niillä saadut pistepilvet eivät ole yhtä laadukkaita kuin valon kulku aikaan perustuvilla keilaimilla saadut aineistot. Jatkuva-aaltoiset laserkeilaimet ovat kuitenkin nopeita, sillä ne pystyvät mittaamaan jopa 500 000 pistettä sekunnissa. (Joala 2006, 2003; Kukko 2005, 6-7.)



KUVIO 9. Vaihe-erolaserkeilaimen toimintaperiaate (Kukko 2005, 7).

4.3 Luokittelu käyttötarkoituksen mukaan

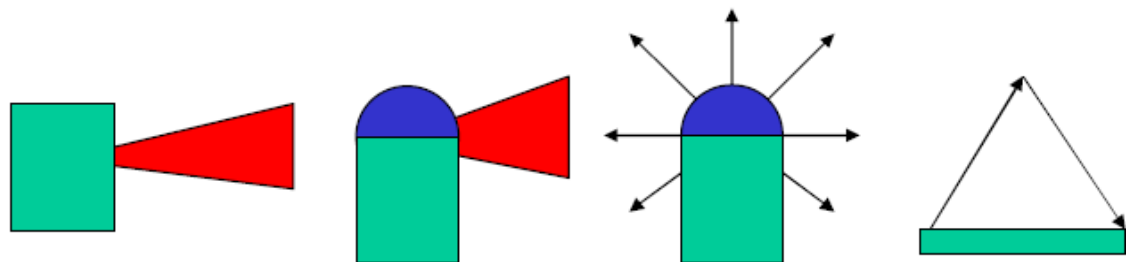
Laserkeilaimet voidaan jakaa mittausetäisyyden ja -tarkkuuden mukaan kolmeen pääluokkaan:

- Kaukokartoituslaserkeilaimiin, joita käytetään esim. lentokoneista. Näiden mittausetäisyys vaihtelee välillä 0,1–100 km ja mittaustarkkuus on tyypillisesti noin 10 cm.
- Maalaserkeilaimiin, joita käytetään maasta tehtäviin mittauksiin. Näiden laitteiden mittausetäisyys on 1-300 m ja mittauspisteen tarkkuus alle 2 cm.
- Teollisuuslaserkeilaimiin, joita käytetään nimensä mukaisesti teollisuuden parissa. Niillä on lyhyt, alle 30 m:n mittausetäisyys ja niiden mittaustarkkuus on alle 1 mm:n (Joala 2006, 1.)

4.4 Maa-laserkeilainten luokittelu toimintaperiaatteen mukaan

Opinnäytetyössä käytettiin maa-laserkeilainta, eli terrestriaalista laserkeilainta. Maa-laserkeilaimet voidaan jakaa toimintaperiaatteen mukaan neljään kategoriaan (kuvio 10.):

- Keilamainen mittaustapa (kamera-keilain): mittaamatta jää useita alueita. Mittaaminen on mahdollista vain tiettyyn suuntaan ja rajatulle alueelle. Tämä mittamenetelmä soveltuu hyvin yksityiskohtaisiin mittauksiin.
- Panoraaminen mittaustapa: mittaamatta jäävä alue, mittausrajoite, on laitteen yläpuolella.
- Kupolimainen mittaustapa: mittaamatta jää vain laitteen alapuolelle jäävä alue (tekninen rajoite). Tämä mittaustapa on yleisimmin käytössä. Soveltuu hyvin louhosten, tunnelien ja sisätilojen mittaukseen.
- Optinen kolmiomittaus: mittaamatta jää suuria alueita. Harvinaisin mittausmenetelmä, jossa on suuret katvealueet, mutta joka on tarkka pisteenmittauksessa. (Joala 2003, 2, 2006, 1-2.)



KUVIO 10. Maa-laserkeilaimien tyyppejä toimintaperiaatteen mukaan: Kamera-keilain, Panoraama-keilain, kupolimainen keilain ja optisen kolmiomittaus (Joala 2007, 3).

5 PISTEPILVI JA SEN KÄSITTELY

5.1 Pistepilvi

Laserkeilauksesta saatua aineistoa kutsutaan pistepilveksi, sillä se koostuu lukuisista yksittäisistä pisteistä. Yhden kohteen pistepilvi voi koostua miljoonista pisteistä. Pistepilven jokaisella yksittäisellä pisteellä on koordinaatti ja intensiteettiarvo. Nämä pisteet ovat siis tunnettuja pisteitä.

Laserkeilauksella saatu pistepilviaineisto rekisteröidään ja yhdistetään, aineisto suodatetaan ja kohina poistetaan (Hyypä et al. 2009, 19). Pistepilvessä on yleensä myös ns. turhia ja ylimääräisiä pisteitä. Näitä pisteitä ei tarvita, eikä niitä haluta käyttöön. Tällaisia pisteitä voi olla esim. kasvusto, tai rakennuksen ikkunoista läpi näkyvät verhot. Nämä pisteet poistetaan, jotta pistepilvi kuvaisi vain haluttua kohdetta. Pistepilven käsitteleminen on tärkeää, jotta tiedoston koko saataisiin pysymään mahdollisimman pienenä.

Aineiston käsittelyn jälkeen aloitetaan joko kohteen mallinnus pistepilven avulla tai pistepilven muunlainen käyttö. Pistepilvestä voidaan tehdä kolmioverkkoja, pintamalleja ja virtuaalimalleja. Lisäksi pistepilveä on mahdollista käyttää sellaisenaan esim. toteutuman vertailuun. Yleisin syy pistepilven mittaukseen on kuitenkin mallinnus. (Joala 2006, 3-4; Hyypä et al. 2009, 18–20.)

5.2 Pistepilven laatu

Pistepilven tiheys on yksi selkeä aineiston laatuun vaikuttava tekijä. Tiheyden tulee olla käyttötarkoitusta vastaava, jotta aineistoa voidaan kutsua laadukkaaksi. Laserkeilauksessa pistepilven tiheys voidaan määritellä tarvittavaan tarkkuuteen. Mitä tarkempi analyysin pinnan rakenteesta tarvitaan, sitä tiheämmäksi pistepilvi valitaan. Pistepilven tiheyden määrittäminen tapahtuu ennen laserkeilausta.

Pistepilven tiheyden lisäksi aineiston laatuun vaikuttaa suoraan pisteiden välimatka. Pistepilven pisteiden tarkkuus tulee olla hyvä, jotta tiheästä pistepilvestä on hyötyä. Pisteiden tiheys heikkenee matkan funktiona, eli mitä kauempana keilattava kohde sijaitsee, sitä harvempi pistepilven tiheys on. Vaihe-ero-menetelmään perustuvilla keilaimilla kyetään mittamaan 50 metrin matkalla pistepilviä 8 mm:n ruutuun ja valon kuluaikaan perustuvilla keilaimilla pari kolme kertaa tiheämmin. Eri laitteiden kyvyissä mitata äärietäisyyksiä on eroja, samoin kuin äärietäisyyksistä saadun aineiston laadussa. (Joala 2006; Hyyppä et al. 2009, 18.)

Pisteaineistoa on yleensä tarpeellista suodattaa ennen mallin tekoa, sillä pistepilven käsittely vaikeutuu jos pisteitä on liian tiheästi. Pisteiden tiheyttä voidaan siis harventaa, mikäli se ei haittaa kohteen muotoa. Aineiston määrää saadaan pienennettyä myös rajaamalla aineistoon pelkästään haluttu kohde, eli poistamalla tarkastellun kohteen ulkopuolisia pisteitä. Tämä kaikki helpottaa pistepilven käsittelyä. Pistepilveä voidaan kuitenkin myös täydentää, jos aineistoon on jäänyt aukkoja esim. mittausgeometrian vuoksi. (Hyyppä et al. 2009, 20.)

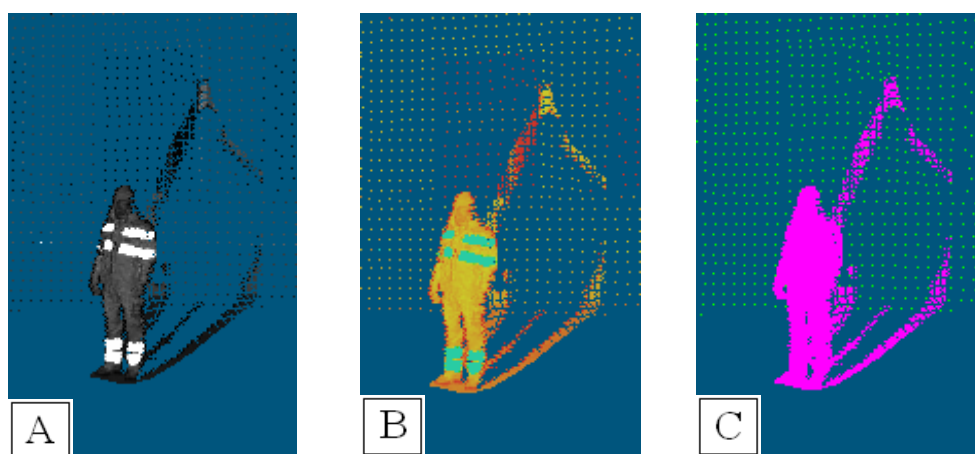
Muita pistepilviaineiston laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat lasersäteen halkaisija, mittauksen kohina ja pisteiden hajonta. Mitattujen pisteiden hajontaan vaikuttaa mittaussäteen osumiskulma kohteelle. Tämän perusteella kohteen mallintamisessa on tärkeää seurata jäännösvirheitä. Jäännösvirheitä kutsutaan myös residuaaleiksi. Virheet kuvaavat havaitun ja tasoitetun pisteen välistä eroa. Virheitä on mahdollista tarkastella hajontakuvion kautta. Systemaattisen virheen löytäminen mahdollistuu, sillä residuaalien tulisi noudattaa normaalijakaumaa. (Joala 2006, 3; Ruohonen 2007, 23; Heiska 2009, 13.)

5.3 Pistepilven intensiteetti

Joillain laserkeilaimilla pystytään tallentamaan laitteeseen palautuvan lasersäteen voimakkuus. Lasersäteen paluusignaalin vahvuutta kutsutaan myös intensiteetiksi. Signaalin intensiteetti heikkenee mitattavan kohteen ollessa kaukana. Signaalin vahvuuteen vaikuttaa myös kohteen kaarevuus ja mitattavan pinnan ominaisuudet esim. rappaus. Mitattu intensiteetti on mahdollista esittää visuaalisesti pisteiden harmaasävyintensiteettinä tai värierona (kuvio 11.). Tällä tekniikalla pystytään erottamaan pinnan

tekstuureja, kuten kuvioita ja tekstejä. Tekstuuria näyttävä malli on yleensä yksiväristä mallia monipuolisempi ja silmälle ystävällisempi. (Joala 2006.)

Kuviosta 11. tulee hyvin esille miten intensiteetin käyttäminen helpottaa hahmottamista. Kuviossa näkyy henkilön laserkeilauksesta saatu pistepilvi kolmella eri esittämistavalla. Keilaus on tehty tiheällä 2 x 2 cm ruudulla. Henkilö hahmottuu intensiteetillä värjätyissä kuvissa helpommin ja selkeämmin. Heijastimen heijastava pinta vaikuttaa intensiteetin vahvuuteen huomattavasti. Lasersäde on palautunut heijastinpinnasta voimakkaana ja näkyy selkeästi kuvissa A ja B. Heijastimia ei näy ollenkaan käytettäessä keilauksen omaa väritystä kuvassa C.



KUVIO 11. Laserkeilattu henkilö ja siitä saatu pistepilvi esitettynä
A) harmaasävy-intensiteetillä, B) värierointensiteetillä ja C) keilauksen värityksellä.

5.4 Pistepilvien yhdistämistavat

Laserkeilauksessa kohteen mittaus tapahtuu yleensä monelta eri kojeasemalta. Näin saadaan mahdollisimman kattava pistepilvi. Toisin sanoen katvealueita ei tällä tavalla juuri pitäisi jäädä. Nämä erikseen mitatut pistepilvet pitää liittää yhdeksi isoksi pilveksi, eli aineistot täytyy yhdistää. Tarkin tapa yhdistää aineistot on käyttää yhteisiä tunnettuja pisteitä. Näiden käyttö mahdollistaa jopa 1-3 mm tarkkuuden. (Joala 2006; Hyypä et al. 2009, 20; Liimatainen 2010, 28.)

Menetelmää käytettäessä jokaisessa pistepilvessä pitää olla ainakin kolme yhteistä koodattua tähytä ja näiden tähytten avulla pistepilvet yhdistetään samaan koordinaatistoon. Tähykset on mitattava laserkeilaimella ja ne ovat yleensä tasomaisia, pallomaisia tai puolipalloja. Pistepilvien yhdistäminen on aikaa vievää. Laserkeilaimen ja takymetrin yhdistelmälaite säästää tässä aikaa, sillä se kykenee yhdistämään pistepilvet automaattisesti. Tämä toiminto vaatii kuitenkin myös tähyksien mittauksen tai tunnettuja pisteitä. (Joala 2006; Hyyppä et al. 2009, 20; Liimatainen 2010, 28.)

Tähyksien avulla yhdistetyt pistepilvet voidaan myös siirtää tarvittavaan koordinaattijärjestelmään, kunhan tähyksien keskipisteet mitataan takymetrillä ympäröivässä koordinaatistossa. Pistepilviaineisto voidaan yhdistää myös etsimällä vastinpisteitä tai -piirteitä ja käyttää niitä apuna muutosparametrien havaitsemisessa. Lisäksi pistepilvet voidaan sovittaa yhteen pinnan kanssa. Referenssipistepilveen luodaan kolmioimalla pinta, johon muuta pistepilvet sovitetaan. (Joala 2006; Hyyppä et al. 2009, 20.)

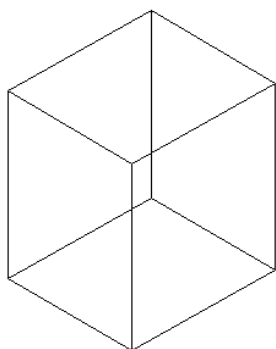
6 PISTEPILVEN KÄYTTÖ

6.1 Pistepilven mallintaminen

Kuten kappaleessa 5.1 on todettu, pistepilveä käytetään useimmiten pohjana mallinnukselle. Mallintamistapoja on erilaisia ja mallintamistavan valinta tehdään projektin tarpeita ajatellen. Eri tapojen välillä on mallin rakentamistapaan, ohjelmistovaatimukseen, esitystapaan ja ajankäyttöön liittyviä eroja. Pistepilveä voidaan käyttää pohjana mallintaessa esim. viivamalleja, kolmioverkkoja, pintamalleja, tilavuusmalleja, tietomalleja tai virtuaalimalleja. (Heikkilä et al. 2005, 10.) Pistepilven avulla muodostettu malli on oikein tehtynä hyvin tarkka.

6. 1.1 Viivamalli

Viivamalli (wireframe model) on malli, joka koostuu yhden akselin suuntaan venytetyistä pisteistä. Muodostus tapahtuu nurkkapisteiden avulla. Malliin jää näkyviin myös tasojen takana olevat piiloviivat (kuvio 12.). Viivamallia kutsutaan myös rautalankamalliksi. Se on nopea tehdä, mutta esitystapa ei ole välttämättä kovin informatiivinen. (Witikainen 1995; Heikkilä et al. 2005, 10; Penttilä 2005.)

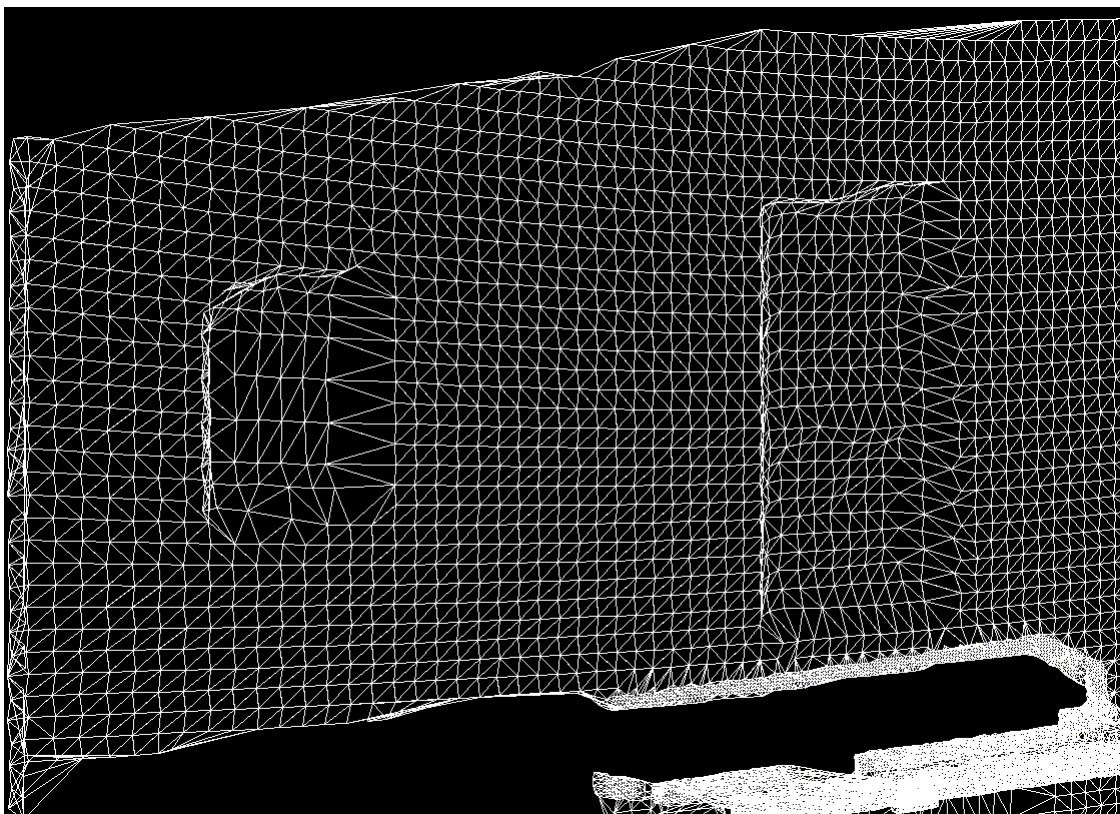


KUVIO 12. Viivamalli.

6.1.2 Kolmioverkko

Kolmioverkko saadaan aikaiseksi luomalla kolmioita pisteiden ja viivojen välille (kuvio 13.). Kolmioverkkoa voidaan käyttää apuna ja pohjana moneen eri toimeen, esim. kohteen nopeaan visualisointiin. Matemaattisella laskennalla pyritään löytämään eri pisteistä mahdollisimman pieniä välejä. Näiden pisteiden välille piirretään kolmioita ja niiden avulla muodostetaan verkko.

Laskenta perustuu pisteiden tiheyteen ja on näin ollen sidottu lähtöaineiston tarkkuuteen. Jos aineistona on harvaan keilattu pistepilvi, on pisteiden välinen etäisyys pitkä. Tällaisesta pistepilvestä tehty kolmioverkko ei välttämättä ole tarkka. Tiheästä pistepilvestä saadaan hyvin pienistä kolmioista muodostuva ja näin ollen myös tarkka kolmioverkko. Kolmioverkon mallintaminen on nopeaa ja ohjelmat tekevät sen yleensä automaattisesti. Kolmioverkon voi esittää viivoina, pintana tai korkeuskäyrinä. (Lappalainen; Novapoint.) Kuviossa 13. oikealla alhaalla näkyvä valkoinen ”pinta” on tiheimmästä pistepilvestä tuotettu kolmioverkko.

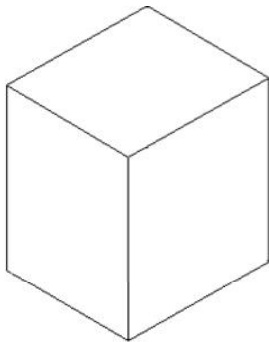


KUVIO 13. Rakennuksen seinän pistepilvestä muodostettu kolmioverkko.

6.1.3 Pintamalli

Kolmioverkon avulla on mahdollista muodostaa pintamalli (3d-mesh, surface model). Pintamalli (kuvio 14.) muodostuu tasopinnoista (surface). Nämä pinnat ovat toisen akselin suuntaan venytettyjä viivoja. Malli muodostuu siis pinta-elementeistä. Pinta-malli on viivamallia havainnollistavampi. (Penttilä 2005; Liimatainen 2010, 23; Metsäkeskus 2010, 2.)

Pintamallia käytetään, kun kappaleen pinta tai jokin sen osa on mielenkiinnon ja tarkastelun kohteena. Tällaisia malleja ovat esim. maastomalli, arkkitehtuurimalli tai kasvillisuuden pintaa kuvaava malli. Pintamallien luomiseen on monissa ohjelmissa nopeat ja automatisoidut työkalut. Laserkeilausta ja pistepilviaineistoa on käytetty erityisesti maastomallien luomiseen. (Penttilä 2005; Lamppu 2008, 63; Liimatainen 2010, 23; Metsäkeskus 2010, 2.)

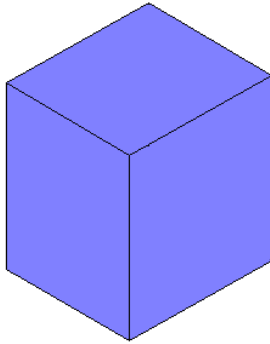


KUVIO 14. Pintamalli.

6.1.4 Solid-malli

Solid-mallia (kuvio 16.) käytetään erityisesti silloin, kun tavoitteena on saada kohteesta tai kappaleesta analyysia. Malliin on mahdollista liittää tietoa esim. kappaleen tilavuudesta, tai sen painopisteestä. Malli rakennetaan erilaisista kolmiulotteisista kappalemaisista elementeistä. Näitä elementtejä ovat esim. suorakulmainen särmiö, sylinteri, kartio, pyörähdyskappale ja pyyhkäisykappale. (Penttilä 2005; Lamppu, 2008, 64–66.)

Solid-elementiksi kutsuttu kappale on siis kolmannen akselin suhteen venytetty tasopinta. Solid-malli mallinnetaan käyttäen CSG-periaatetta (constructive solid geometry), jonka ansiosta mallissa on yleensä mahdollisuus muokata elementtejä yhdistämällä, ”poraamalla” tai esim. leikkaamalla. (Penttilä 2005; Lamppu, 2008, 64–66.)



KUVIO 16. Solid-malli.

6.1.5 Tietomalli

Tietomallinnuksessa (BIM) on tarkoitus tehdä mallinnettavasta kohteesta ns. älykäs malli. Malliin on voitu lisätä tilavuus ominaisuuksien lisäksi esim. materiaaliominaisuuksia. Malli on kaikkien osapuolten käytössä ja muutokset yhden osapuolen toimissa tulee heti tietoon kaikille esim. LVI-suunnittelijan tekemät muutokset näkyvät mallissa rakennesuunnittelijalle. Kaikki suunnittelijat voivat siis olla samaan aikaan töissä.

Tietomallin avulla myös suunnittelijan ja urakoitsijan on helpompi keskustella projektista. Perinteisillä suunnittelumetodeilla työtä täytyy siirtää eri ohjelmien välillä ja osa tiedoista saattaa olla vaarassa kadota. Nämä digitaalisen tiedon kulkemisesta aiheutuvat tietohukat on minimoitu, koska tietomallia ei tarvitse siirrellä ohjelmasta toiseen. Tietomallinnus mielletään yleensä nimenomaan talopuolen mallintamistavaksi. Se kuitenkin soveltuu samalla tavalla myös infrapuolen suunnitteluun ja -rakentamiseen. (Vianova 2011.)

6.1.6 Virtuaalimalli

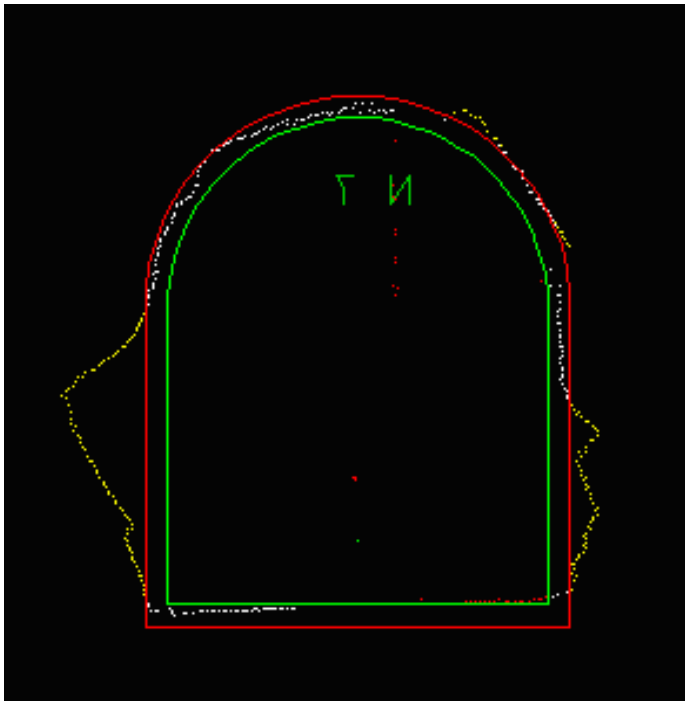
Virtuaalimalli on esim. asuinalueesta tehty kolmiulotteinen malli, johon voidaan ohjelmoida erilaisia vaihdettavia asetuksia esim. vuorokauden aika tai vuoden aika. Mallissa on mahdollista kulkea vapaasti esim. näppäimistön avulla. Tämän tyyppinen malli soveltuu hyvin kohteiden esittelyyn yleisölle tai esim. erilaisten ratkaisuvaihtoehtojen vertailuun. Virtuaalimallin luomisessa voidaan hyödyntää kohteesta otettuja digitaalikuvia, joita voidaan yhdistää pintamalliin ja saada näin jokaiselle pisteelle oikea väri. Mallista on mahdollista ottaa myös still-kuvia, eli kuvan kaappauksia. (Novapoint; 3D Render; Särnä-projekti.)

6.2 Pistepilven muu käyttö

6.2.1 Pistepilven käyttö sellaisenaan

Pistepilveä voidaan käyttää myös ilman mallinnusta. Tämä voi olla perusteltua, sillä mallintaminen vie aikaa, saattaa vähentää kuvan tarkkuutta ja ei välttämättä aina ole suunnittelutyön kannalta tarpeellista. Jokaisessa projektissa tulee erikseen määritellä pistepilven ja siitä tehtävän mallin tarpeellisuus ja käyttöaste.

Esimerkiksi suunnitellun ja toteutuneen louhinnan vertailussa pelkän pistepilven leikkauksen käyttö suunnitellun mallin päälle tuottaa tarvittavan informaation (kuvio 17.). Myös massoja pystytään laskemaan monilla ohjelmilla pelkkää pistepilveä hyväksi käyttäen. Pistepilven ja mallin avulla on lisäksi mahdollista tehdä esim. törmäystarkasteluja.



KUVIO 17. Suunniteltu tunneli ja toteutuneesta louhinnasta saatu pistepilvi (Terrasolid Oy).

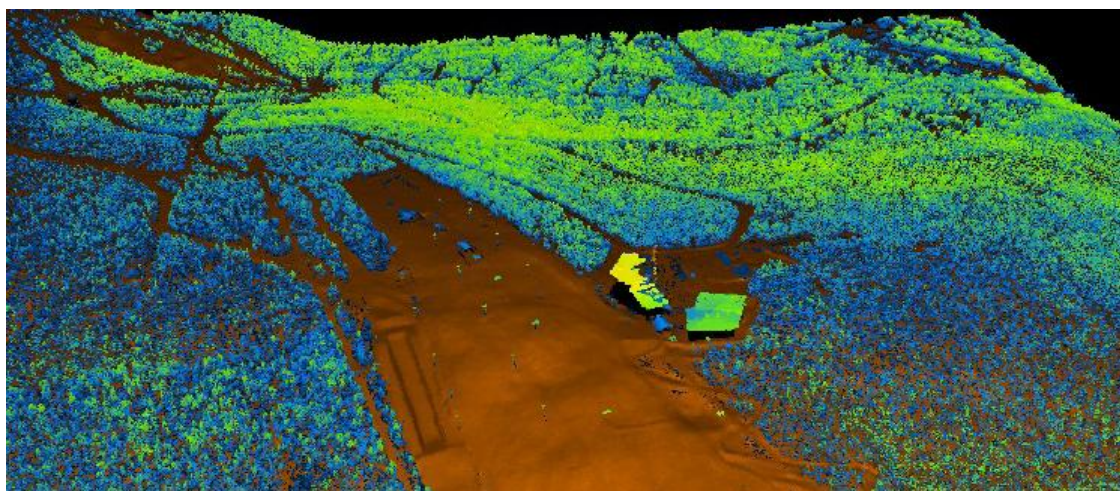
Pistepilven käyttöä voidaan helpottaa värjäämällä pistepilven pisteet RGB-väriarvon mukaan. Tällöin pisteelle annetaan väriarvo kohteen valokuvan värin mukaan. Näin pistepilvestä saadaan hyvin valokuvamaisen näköinen (kuvio 18.). Pistepilvi on havainnollisempi ja sitä on helpompi käyttää.



KUVIO 18. Ylivieskan laserkeilauksen pistepilveä värjättynä ilmakuvilla (kuvaruutukaappaus) (tilaaja Ylivieskan kaupunki, laserkeilaus TopEye AB, käsittely Topterra Oy).

Pistepilven käytön helpottamiseksi voidaan se joillain ohjelmilla värjätä näyttämään mallinnetulta pinnalta. Tämä onnistuu esim. Terrasolidin ohjelmilla. Värjäys voi perustua luokitteluun, intensiteettiin tai esimerkiksi korkeuteen (kuvio 19.). Tällöin aineistosta saadaan suoraan virtuaalimallin kaltainen malli. Pelkän keilausdatan käyttö vähentää turhaa mallintamista ja mallin mittatarkkuus säilyy muuttumattomana (kuviot 20. ja 21.). Keilausdatan täytyy kuitenkin olla riittävän tiheää ja laadukasta.

Laserdataa voidaan käyttää suoraan 3D-ympäristönä esim. infrasuunnittelussa. Tärkeää on käyttää moderneja, suuriin pistemääriin kykeneviä, suunnittelutyökaluja. Värikoodatun pistepilven suora hyödyntäminen nopeuttaa ja helpottaa työn tekemistä. Silloin ei ole tarvetta harventaa maanpinnan pisteitä, vektoroida taiteviivoja, koodata kohteita tai tehdä virtuaalimallia. Suunnittelija saa käyttöönsä kuitenkin pistepilven avulla täydellisen 3D-suunnittelu ympäristön. (Lehtonen 2010, 13.)



KUVIO 19. Pistepilven värjäys suhteellisen korkeuden mukaan (copyright Maanmittauslaitos, 2011).



KUVIO 20. Pelkistä pisteistä koostuva julkisivu TerraStereo ohjelmassa (Terrasolid 2010).



KUVIO 21. Pisteistä muodostettu pinta TerraStereolla (Terrasolid 2010).

6.2.2 Pistepilven käyttö kuvan kautta

Pistepilveä voidaan käyttää myös kuvan muokkaamisen tukena. Laserkeilauksesta saatavan aineiston avulla valokuvamateriaalista voidaan tehdä esim. ortokuvia. Ortokuva on projektiioon oikaistu kuva, missä säilyy alkuperäinen yksityiskohtaisuus. Ortokuvaa tehtäessä poistetaan korkeuseroista johtuvat mittakaavaerot ja kuvan perspektiivi muutetaan keskusprojektiokuvasta kohtisuoraksi yhdensuuntaisprojektioksi. Tämä edellyttää ulkoisen orientoinnin ja maaston korkeussuhteiden tuntemista. Ulkoinen orientointi tehdään usein kolmioimalla ja korkeuskäyränä käytetään korkeusmallia. Ortokuvia käyte-

tään etenkin ilmakuvauksista tehtyihin maastokuvien oikaisuun, mutta myös muiden tasomaisista pinnoista otettujen kuvien oikaisuun esim. rakennusten julkisivut. (Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen seura 2005, 7; Haggrén 2002.)

Pistepilven lisäksi suunnittelussa ja mitoituksessa voidaan suoraan käyttää myös aineiston mukana tulevia kuvatiedostoja. Esimerkiksi Trimblen laitteistolla on mahdollista ottaa, pistepilven lisäksi, koordinaatistoon sidottuja kuvia. Nämä kuvat ovat sijainniltaan tunnettuja ja ne sisältävät informaatiota jo itsessään. Niistä on mahdollista saada esim. mittatietoa ilman pistepilven käyttöä. (Koskinen 2009.)

6.2.4 Koneohjaus

Yksi laserkeilausaineiston käyttösovellus on pistepilvestä tehdyn mallin tuominen koneohjauksen pohjaksi. Koneohjausyksiköiden hinnat ovat halventuneet ja koneohjauksen kustannussäästöt ovat olleet selkeitä. Myös laskutuksen tarkkuus paranee kun dokumentoidaan tarkat materiaaliraportit päivittäin. Koneohjaus onkin yleistynyt työmaila. (Vähäkainu 2011.)

Yksinkertaisimmillaan koneohjauksessa laservastaanotin asennetaan esim. koneen kauhaan. Laserdata näkyy ohjaamoon ja koneen käyttäjä ohjaa konetta tätä tietoa hyväksikäyttäen. Kolmiulotteisessa koneohjauksessa rakennustyömailla käytettäviä koneita ohjataan joko automaattisesti koneohjausyksiköllä, tai sitä apuna käyttäen. (Vähäkainu 2011; Topgeo.)

Suunnittelijan malli ladataan koneeseen ja sensorit ohjaavat työkoneen toimintaa, tai koneen ohjaaja käyttää mallia apunaan. Kone toimii GPS-lähettimen avulla koordinaatistossa. Koneohjausta käytettäessä koneen käyttäjillä on siis koko ajan edessään suunnitelmat, ja tämän avulla kokemattomammillakin kuljettajilla on mahdollisuus tehdä parempaa jälkeä ja vaativampia kohteita. Myöskään mittaukset tai liikkuneet mittalaput eivät hidasta projektia. (Vähäkainu 2011; Topgeo.)

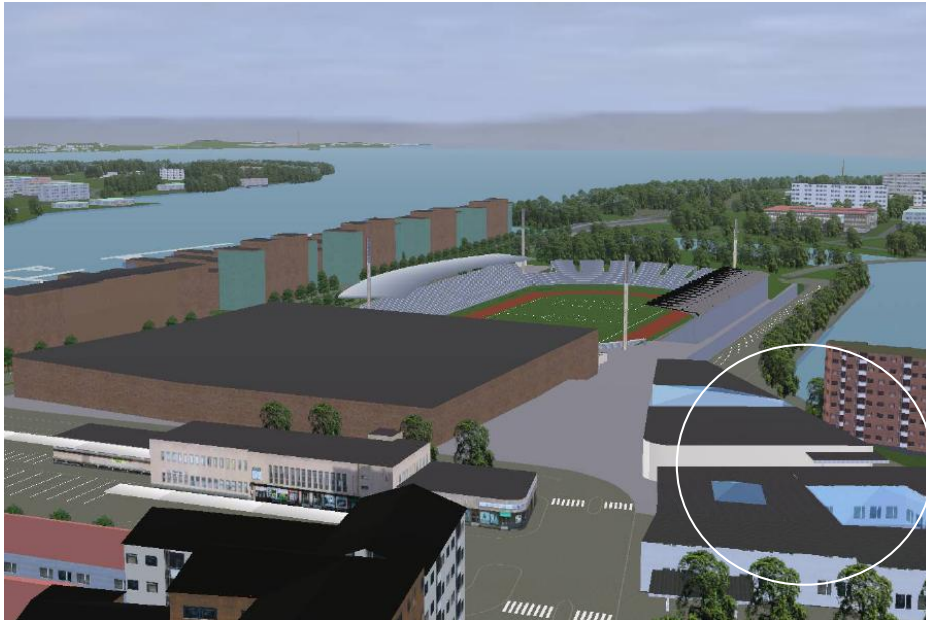
7 MITTAUSKOHDE JA -KALUSTO

7.1 Mittauskohde

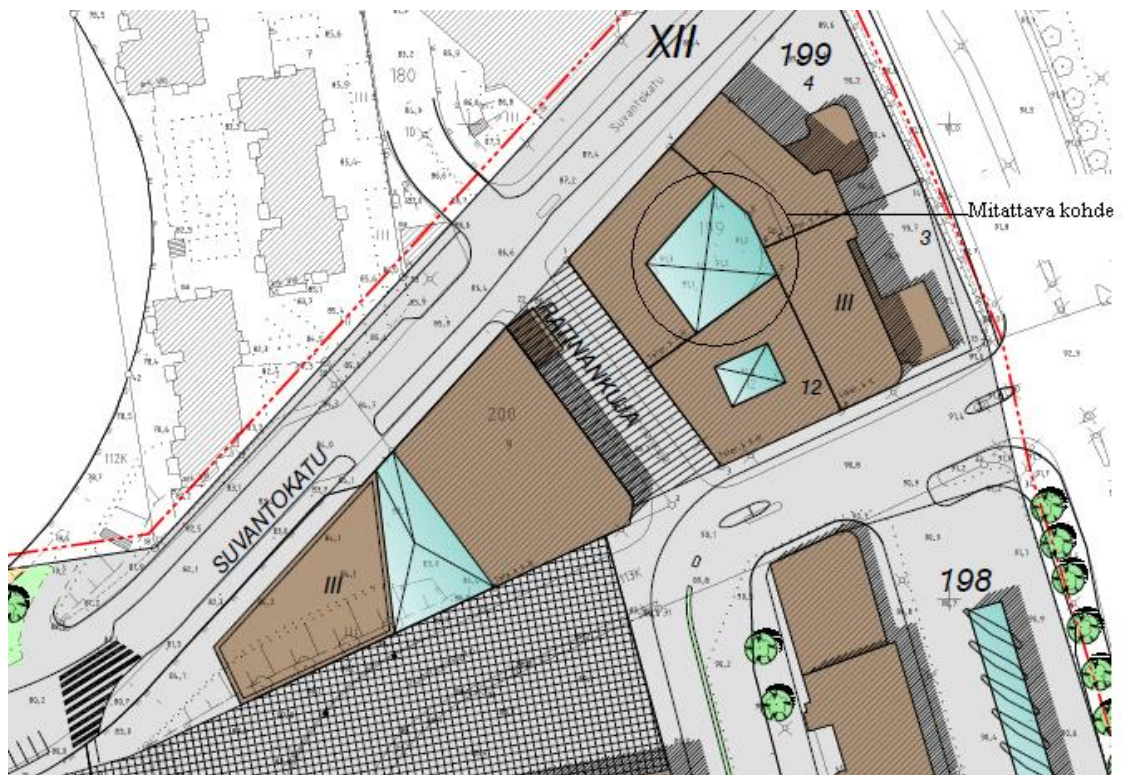
Mittauskohteen oli alun perin tarkoitus olla ydinvoimalaitoksen merivesipiirin tunneli. Kohteen mittaaminen olisi kuitenkin ollut hyvin hankalaa ja mittausaineiston käyttö, kohteen luonteen vuoksi, varsin rajattua. Laserkeilaus tapahtumana ja pistepilven käsittely ohjelmistolla eivät perusperiaatteeltaan juurikaan poikkea keskenään, vaikka kohde olisi mikä tahansa. Työtä on siis silti mahdollista peilata ydinvoimarakentamisen kannalta, vaikka varsinainen suoritettu kohde ei asioiden helpottamisen vuoksi olekaan ydinvoimarakentamiseen liittyvä.

Mitattavaksi kohteeksi saatiin Tampereen keskustassa olevan Vuoltsun korttelissa nro. 199 sijaitseva sisäpiha (kuvio 22.). Vuoltsun korttelin tontit 3 ja 4 ovat liike- ja toimistorakennusten korttelialuetta (K). Tontti 12 on liike- ja toimistorakennusten, sekä kulttuuritoimintaa ja huvi- ja viihdetarkoituksia palvelevien rakennusten korttelialuetta (KYV). Kortteli on asemakaavan muutoksella osoitettu säilytettäväksi mittarikatoksi-
neen, kuitenkin niin, että sisäpihoja saa kattaa valokatoksella. Museoviraston mukaan kortteliin tehtävien muutostöiden tavoitteina tulee olla arkkitehtonisen luonteen ja ominaispiireiden säilyminen. Tämä koskee niin ulkohahmoa, kantavia rakenteita kuin myös muita rakenteita ja rakennusosia. Myös rakennusten sisäpuolella tulee säilyttää ja vaalia alkuperäistä luonnetta. Sisäpihojen valoaukot tulisi museoviraston mukaan ottaa käyttöön (kuvio 23.). (Tampereen kaupunki 2011b.)

Mittauskohteena oli kahdesta sisäpihasta suurempi (kuvio 24.). Sisäpiha oli kooltaan noin 425 m² ja se oli asfaltoitu. Sitä oli aikaisemmin käytetty parkkipaikkana. Sisäpihalle johti ajoväylä ja kahdella sen seinistä oli ikkunoita, sekä ovia. Yksi seinistä oli kaareva. Sisäpiha ei ollut silmämääräisesti arvioituna kovinkaan hyvässä kunnossa.



KUVIO 23. 3D-kuva ratinan alueen suunnittelusta (Tampereen kaupunki 2011a). Oikealla alareunassa ympyröitynä mittauskohde ja siihen hahmoteltu valokate.



KUVIO 24. Osa Vuoltsun korttelin havainnepiirroksista (Tampereen kaupunki 2006). Kuvassa ympyröitynä mitattava kohde.

7.2 Laserkeilaimen valinta

Kuten kappaleessa 4.4 todettiin, laserkeilainten valinta rajattiin maa-laserkeilaimiin. Maa-laserkeilaimissa valinta tapahtui keilattavan kohteen tarpeiden mukaan. Rakennusta keilattiin suhteellisen läheltä, joten usean sadan metrin keilauskantamaa ei tarvittu. Laserkeilaimen valintaan voi vaikuttaa myös kulmaresoluutio, lasersäteen divergenssi ja keilauskulma (Kukko 2005, 9). Laitteiston hankinta- ja käyttökustannukset, sekä käytettävyys vaikuttavat myös osaltaan laitteiston valintaan. Tässä opinnäytetyössä laitteiston valintaan vaikutti eniten opinnäytetyön tekijän tiivis yhteistyö A-Insinöörit Geotesti Oy:n kanssa. Geotesti hankki laitteiston vuokralle Geotrim Oy:ltä. Laserkeilaimena käytettiin Trimble VX Spatial Station mittaus- ja paikannusjärjestelmää (kuva 1.). Laite yhdistää takymetrimittauksen ja laserkeilauksen. Lopputuloksena sillä on mahdollista tuottaa sekä 2D- että 3D-materiaalia, ja ottaa myös digitaalikuvia. (Geotrim.)



KUVA 1. Trimble VX Spatial Station (Geotrim).

Laitteen teknisiä tietoja:

- toimintaperiaate pulssilaser
- skannausetaisyys 1 - 250 m
- keilausnopeus 15 pistettä sekunnissa, tyypillisesti 5-10 pistettä / s
- mittapoikkeama skannauksessa 3 mm / 150 m
- paino 6,7 kg (mittausvalmiina, sis. jalustan)

(Trimble VX Spatial Station Datasheet.)

Mittalaitteen piti alun perin olla Trimblen GX 3D -laserkeilain, mutta tätä laitetta ei saatu käyttöön. GX 3D -laserkeilain on massiivilaserkeilain ja näin ollen se olisi ollut pelkässä laserkeilauksessa VX-yhdistelmälaitetta nopeampi ja tarkempi. Trimble VX tekee noin viisi mittausta sekunnissa ja on siis huomattavasti massiivilaserkeilaimia hitaampi. Trimble VX ei myöskään kykene tuottamaan väriarvollisia pistepilviä.

Massiivilaserkeilaimia käytettäessä kohteessa täytyy yleensä olla myös takymetri, jotta pistepilvi saadaan orientoitua koordinaatistoon. Trimblen VX-laitteella erillistä takymetriä ei tarvita, vaan kaikki tarvittava on samassa laitteessa. VX:llä on mahdollista tehdä laserkeilatun aineiston tarkkuuteen liittyviä tarkistusmittauksia takymetrinä. Takymetri-toiminnot toimivat peruseräilteiltään kuten Trimblen takymetrilaitteistoissa yleisesti-kin ja niihin ei tässä opinnäytetyössä puututtu tarkemmin. (Trimble GX 3D Scanner datasheet; Trimble VX Spatial Station datasheet.)

8 MITTAUS

8.1 Mittausjärjestelyt

Mittaus suoritettiin aikataulullisista syistä neljänä eri aamupäivänä. Laserkeilaus oli VX Spatial Stationilla hidasta, joten aikaa kului enemmän kuin oli alun perin arvioitu. Sääolosuhteet olivat hyvät tai vähintään riittävät kaikkina päivinä. Jokaisten päivien kaikki mittaukset tehtiin samaan tiedostoon, mutta omiin kansioihin. Mittauskohteesta otettiin ns. mosaiikkikuva, jossa laite muodostaa panoraamakuvan monen pienen kuvan yhdistelmästä. Kuvat otettiin samalla rajauksella kuin laserkeilaus.

Varsinaisessa laserkeilauksessa mittaustarkkuuksia vaihdeltiin 2 x 2 cm:n ruudukon ja 30 x 30 cm:n ruudukon välillä. Mittauksien käyttötarkoitus määrittelee mittaustiheyden. Mittaustiheyden valintaan vaikutti myös Trimble VX Spatial Station -laitteen hidas keilaustoiminto.

Mittaus suoritettiin vapaalta kojeasemalta. Kojemasia oli käytössä yhteensä neljä kappaletta. Laitteelle annettu mittausetäisyys mitattiin ja laskettiin matkallisena keskiarvona. Apupisteitä tehtiin yhteensä viisi kappaletta. Lisäksi käytettiin hyväksi vanhoja apupisteitä, jotka oli tehty aikaisemmin saneerausmittauksien yhteydessä. Erillisiä tähyksiä ei käytetty. Laite orientoitiin suurin piirtein oikeaan suuntaan siten, että kolme käytettyä apupistettä olivat kaikki suhteellisesti toisiinsa nähden oikein. Tässä vaiheessa kojetta ei siis orientoitu viralliseen koordinaatistoon. Mikäli tarvetta virallisen koordinaatiston käytölle tulee, saadaan mittaukset käännettyä siihen vanhojen apupisteiden avulla.

8.2 Trimble VX Spatial Stationilla mittaus

Laitteella mittaus oli kosketusnäytön ja ohjelmiston selkeyden vuoksi helppoa. Laite oli helppo kasata kevyiden kolmijalkojen päälle (kuva 2.). Kasaamisen jälkeen laite tasattiin manuaalisesti (kuva 3.). Mittalaitteelle syötettiin lämpötila ja tarkastettiin laitteen automaattisesti antama ilmanpaine. Periaatteessa laite oli tämän jälkeen käyttövalmis.



KUVA 2. Laitteen kasaaminen.



KUVA 3. Laitteen vaaitus.

Keilain suunnattiin mittauskohteena olevalle seinälle ja kosketusnäytön avulla rajattiin keilauksen alue. Tämä tapahtui yksinkertaisesti piirtämällä kosketusnäytölle linjat napauttamalla pisteitä tarpeeksi tiheään ja sulkemalla lopulta alue. Keilaukselle valittiin ruudukon tiheys. Mittaus käynnistettiin hyväksymällä valinnat ja laite alkoi mitata rajattua kohdetta (kuva 4.). Mittausten jälkeen valittiin mosaiikkivalokuvaus, johon käytettiin samaa rajausta kuin keilauksessakin. Kone otti alueesta monta pientä kuvaa, jotka se yhdisti yhdeksi suuremmaksi kokonaisuudeksi.

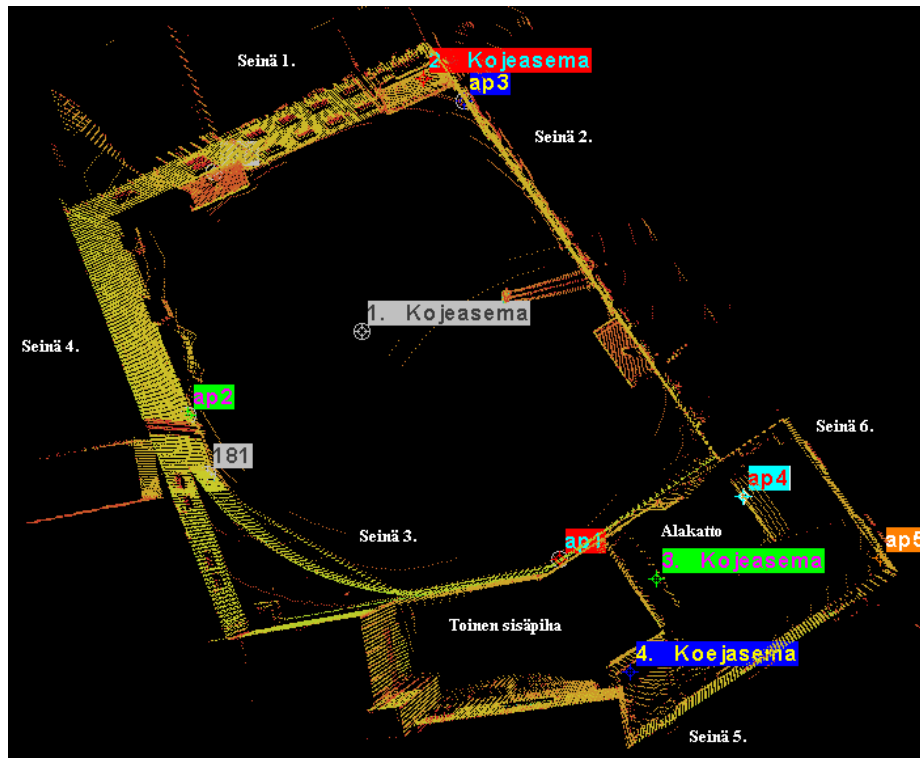


KUVA 4. Trimble VX Spatial Station työssä.

8.3 Mittauspäivät

Ennen laserkeilausta tehdyt työt

Mittaustyöt aloitettiin määrittämällä apupisteet AP1, AP2 ja AP3. Apupisteet määritettiin toistensa suhteen sisäisesti tarkoiksi lähtöpisteiksi. Laitteisto orientoitiin alustavasti apupisteiden ja vanhojen pisteiden avulla. Sisäpihan pohjakuva näkyy kuviossa 25. Pohjakuvasssa on merkittynä kojeasemien sijainnit, apupisteiden sijainnit ja seinien numeerointi.



KUVIO 25. Pohjakuvassa näkyy kojeasemien sijainnit, apupisteiden sijainnit ja numeroituneet seinät.

Päivä 1 (16.11.2010)

Ensimmäisenä mittauspäivä aloitettiin tekemällä edellisissä kappaleissa mainitut työvaiheet. Tämän jälkeen keilaus aloitettiin ensimmäiseltä kojeasemalta mittaamalla seinä 1. (kuva 5.). Seinän mittauksessa käytettiin 10x10 cm:n ruudukkoa. Seinän detaljit, katos ja parveke, mitattiin uudelleen käyttäen tiheennettyä 2x2 cm:n ruudukkoa. Räystäslinja ja katolla sijaitseva ilmanvaihtokonehuone jäivät vielä mittaamatta. Laserkeilauksen jälkeen mitatusta alueesta otettiin valokuvat laitteen mosaiikkivalokuvaustoiminnolla.



KUVA 5. Seinän 1 ortokuva.

Päivä 2 (17.11.2010)

Toisena päivänä käytettiin ensimmäistä kojeasemaa ja mittaukset aloitettiin tekemällä tarkempi mittaus seinän 1. räystääslinjasta ja katolla olevasta iv-konehuoneesta. Mittaus tehtiin ruudukkoon, jonka korkeus oli 2,5 cm ja leveys 50 cm. Samoin tehtiin seinän 2. räystääslinjalle. Seinä 2. keilattiin 10x10 cm ruudukkoon (kuva 6.).



KUVA 6. Seinän 2 ortokuva.

Kaareva seinä 3. laserkeilattiin 30x30 cm ruudukkoon (kuva 7.). Tämän jälkeen mitattiin takymetrillä kahden ensimmäisen seinän ikkunoiden ylälinjoista pisteitä, joilla pyrittiin sisäiseen laadunvarmennukseen. Näillä pisteillä voitiin tarkkailla kuvien upotuksen onnistumista ja tarkkuutta. Seinät kuvattiin mittalaitteella.



KUVA 7. Seinän 3 ortokuva.

Päivä 3 (23.11.2010)

Kolmas päivä aloitettiin samalta kojeasemalta kuin aikaisempinakin päivinä. Siltä mitattiin seinä 4. (kuva 8.) 10x10 cm:n ruudukolla. Tämän jälkeen pystytettiin toinen kojeasema seinällä 1. olevalle parvekkeelle. Näin saatiin parempi näkymä seinälle 5. (kuva 9.). Tämän seinän yläosa keilattiin 15x15 cm:n ruudukolla. Myös näistä otettiin mittalaitteella mosaiikkivalokuvat.



KUVA 8. Seinän 4 ortokuva.



KUVA 9. Seinän 5 ortokuva.

Päivä 4 (24.11.2010)

Neljäntenä päivänä pystytettiin ”välikatolle” kolmas kojeasema, jossa luotiin kaksi uutta apupistettä (AP4 ja AP5). Apupisteet luotiin aiemmin käytettyjen pisteiden avulla (AP1, AP2 ja AP3). Kolmannen ja neljännen kojeaseman mittaustulokset ovat siirtyneet noin 10 mm ensimmäiseen kojeasemaan nähden, sillä kolmannen kojeaseman havaintokulma apupisteisiin oli huonolaatuinen. Siirtymä päätettiin tässä tapauksessa kuitenkin hyväksyä. Kolmannelta kojeasemalta mitattiin seinän 1 iv-konehuoneen toinen sivu 15x15 cm ruudukkoon.

Seinän 4. iv-konehuone ja ikkunan ala-osa mitattiin 12,5x12,5 ruudukkoon. Seinien 1. ja 2. räystäslinjoista mitattiin takymetrillä yksittäisiä hajapisteitä laadunvalvontaa ajatellen. Seinä 5. ja seinä 6. (kuva 10.) mitattiin 12,5x12,5 cm:n ruudukkoon, samoin seinän 3. taustasta muodostuva ”muuri”. Ala-katolla sijaitsevalle parvekkeelle tehtiin neljäs kojeasema apupisteiden AP4 ja AP5 avulla. Tältä kojeasemalta laserkeilattiin toisen sisäpihan seiniä mahdollisimman alas. Toisen sisäpihan mittaukseen ei keskitytty juuri-kaan, sillä se ei kuulunut alkuperäiseen mittaussuunnitelmaan, eikä sitä ollut tarpeellista mitata tarkemmin.



KUVA 10. Seinän 6. ortokuva.

9 OHJELMISTOVALINNAT

9.1 Pistepilven käsittelyyn tarkoitetun ohjelman valinta

Pistepilven käsittelyyn jollain tavalla pystyviä ohjelmia alkaa tänä päivänä olla jo runsaasti. Ohjelmistoa mietittäessä tämän opinnäytetyön tekijä perehtyi erilaisiin pistepilven käsittelyyn soveltuviin ohjelmiin. Ohjelmat voidaan jakaa karkeasti kahteen eri luokkaan: pistepilven jälkikäsittelyyn soveltuvat ohjelmat ja pistepilven jatkokäyttöön tarkoitetut ohjelmat. Eri luokkien rajat ovat häilyvät ja iso osa, etenkin jälkikäsittelyohjelmista, pystyy myös toisen luokan toimiin. Eri ohjelmilla on myös erilaisia painotuksia toiminnoissaan, mutta ajankäytön vuoksi kaikkiin ohjelmiin ei luonnollisesti ollut mahdollista perehtyä. Lisäksi osa ohjelmista painottuu esim. lentokonekeilauksen aineiston käsittelyyn.

Pistepilven jälkikäsittelyyn soveltuvia ohjelmia:

- RealWorks, laserkeilainvalmistaja Trimblen oma ohjelma
- Cyclone, laserkeilainvalmistaja Leican oma ohjelma
- Faro Scene, laserkeilainvalmistaja Faron oma ohjelma
- Z+F LaserControl, laserkeilainvalmistaja Zoller+Fröhlichin oma ohjelma
- TerraScan, Terrasolid Oy:n laajan tuoteperheen eräs pistepilviaineiston editointiin tarkoitettu ohjelma. Ohjelma toimii Bentley Systemsin Microstationin ympäristössä ja siinä on myös mm. automaattisia mallinnustoimintoja.
- Pointools, toimii isoimpien laitevalmistajien datan kanssa suoraan

Mittausaineiston, eli pistepilven käsittelyohjelmaksi valittiin Trimblen RealWorks 6.5.2. Tähän päädyttiin, koska sen oletettiin olevan yhteensopivin Trimblen oman mittalaitteiston kanssa ja näin ollen helpottavan työtä. RealWorks-ohjelmalla voidaan rekisteröidä, visualisoida, tutkia ja muokata laserkeilauksella kerättyjä pistepilviä. Sillä voidaan hallita, käsitellä ja analysoida suuria tietomääriä ja siirtää tiedot edelleen erilaisiin CAD-sovelluksiin (esim. AutoCAD, Microstation). Opinnäytetyön tekijä sai ohjelmaan lyhyen koulutuksen. (Trimble RealWorks Survey -ohjelma.)

Trimble RealWorks -ohjelman vaatimukset:

- Microsoft Windows XP, Vista tai 7
- vähintään 2 GHz prosessori
- muistia (RAM) 2 Gt (suositeltu 4 Gt)
- 512 Mt:n 3D Open GL -yhteensopiva grafiikkakortti
- hiiri jossa on kolme nappulaa (Trimble Realworks 2010, 3)

9.2 Pistepilven jatkokäyttöön soveltuvan ohjelman valinta

Pistepilven jatkokäyttöön tarvitaan siihen soveltuva ohjelma. Yleensä nämä ohjelmat keskittyvät mallintamiseen. Näissäkin on eri osa-alueisiin keskittyneitä ja erikoistuneita ohjelmia. Tiedonsiirron onnistuminen eri ohjelmien välillä on tärkeää. Tällä hetkellä monet eri ohjelmistovalmistajat tutkivat pistepilven tuen lisäämistä ohjelmiinsa.

Pistepilven jatkokäyttöön soveltuvia ohjelmia:

- CloudWorx, Leican ohjelmaa on saatavana monelle eri alustalle (mm. AutoCAD, Microstation).
- Pointools Rhino
- LFM, Zoller+Fröhlichin mallinnukseen suunnattu ohjelma.
- PolyWorks
- AutoCAD Civil 3D (myös AutoCADIin on tullut/tulossa sovelluksia)
- Novapoint
- TerraModeler, Terrasolidin (maasto)mallinnusohjelma

Pistepilvidatan siirron tutkimista ja jatkokäsittelyä varten valittiin tässä opinnäytetyössä ohjelma, joka ei suoraan löydy soveltuvien listalta. Pistepilven ominaisuuksista saisi eniten irti siihen tarkoitetuilla ohjelmilla, mutta opinnäytetyön tekijällä ei ollut yllä olevista ohjelmista mitään kokemusta. Lisäksi opinnäytetyön tekijää kiinnosti tutkia pistepilven siirtomahdollisuuksia nimenomaan sellaisiin ohjelmiin, joihin monella suunnittelijalla on jo valmiiksi käyttökokemusta. Näissä ohjelmissa pistepilveä ei vält-

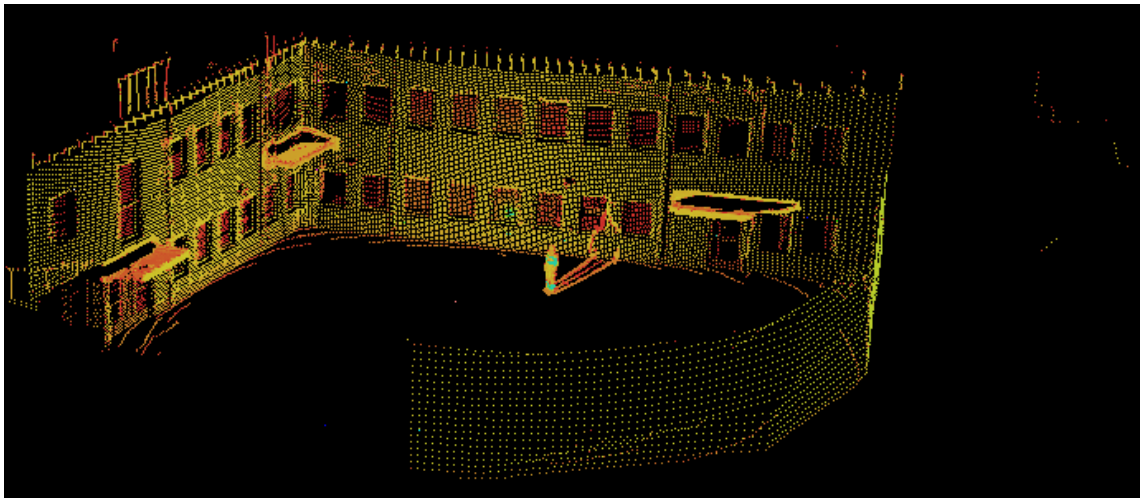
tämättä pystytä hyödyntämään sellaisenaan, mutta pistepilvestä tehtyjä kuvia ja malleja on mahdollista käyttää pohjana jatkosuunnittelulle. Näitä ohjelmia käytettäessä pistepilveä käyttävät projektit pystyttäisiin mallintamaan samalla ohjelmalla, millä suunnittelija yleensäkin työskentelee.

Varsinaista mallintamista ajateltaessa päädyttiin Tekla Oyj:n Tekla Structures -ohjelmaan. Suomalainen Tekla Structures on laajasti käytössä oleva rakennuksen tietomallinnus (BIM) -ohjelma (Tekla 2011). Opinnäytetyön tekijä sai tähän ohjelmaan koulutuksen. Ohjelman valinta tehtiin Tekla Structuresin käytön yleisyyden mukaan. Tiedon siirtoa kokeiltiin Autodeskin AutoCAD 2008 -ohjelmaan, mihin opinnäytetyön tekijällä oli valmiiksi käyttökokemusta.

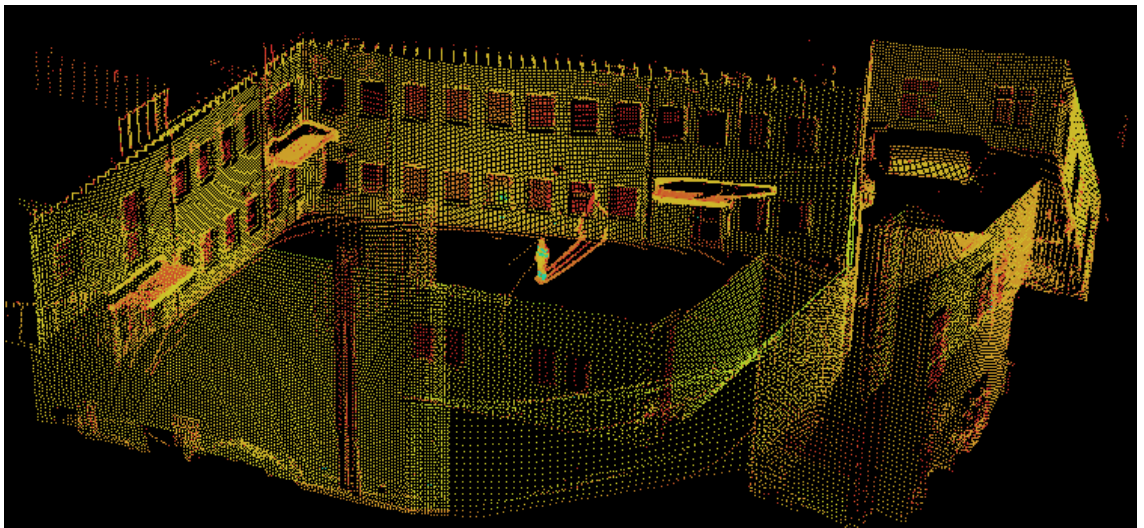
10 MITTAUSAINEISTON KÄSITTELY

10.1 Tiedon siirto ja aineistojen yhdistäminen

Mittauksista saatiin yhteensä 78 061 pisteen aineisto. Tiedon siirto laserkeilaimen ja koneen välillä oli helppoa. Laitteen etupaneeli asetettiin telakkaan, joka oli yhteydessä tietokoneeseen. Siirto aloitettiin ohjattua toimintoa käyttäen. Siirretty tiedosto oli tiedostomuodoltaan jxl. Opinnäytetyössä käytetty Trimblen RealWorks -ohjelma yhdisti eri mitta-asemien aineistot automaattisesti (kuvio 26. ja kuvio 27.), mikä nopeutti ja yksinkertaisti käsittelyprosessia.



KUVIO 26. Ensimmäisen ja toisen päivän pistepilviaineistot yhdistettynä.



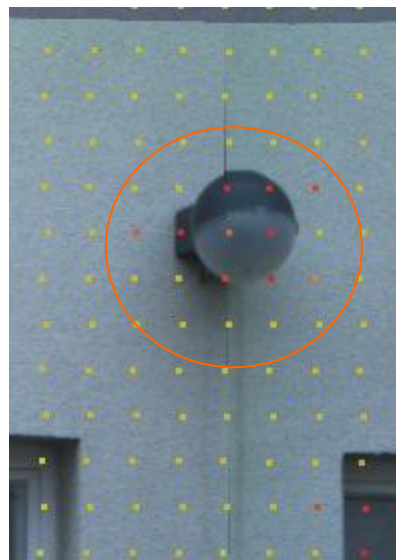
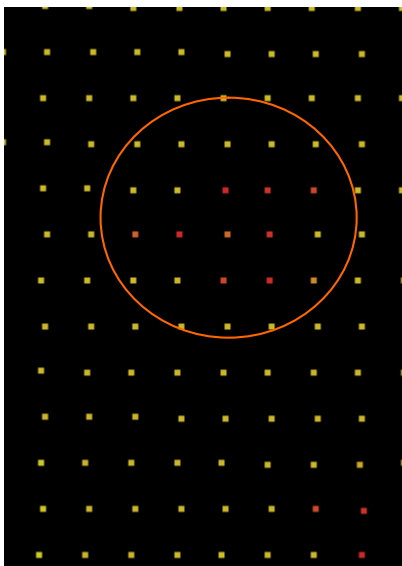
KUVIO 27. Kaikkien päivien pistepilviaineistot yhdistettynä.

Valokuvien yhdistäminen pistepilveen helpottaa työskentelyä ja pisteiden hahmottamista. RealWorks osaa automaattisesti yhdistää pistepilven mosaiikkikuviin. Pistepilven ja kuvan yhdistelmää katsotaan keilausasemasta käsin ja kuvan liikuttaminen on rajoittunut keilausaseman näkymään. Kuviossa 28. on yhdistetty seinän 1. pistepilvi ja mosaiikkikuva. Oranssilla näkyvät alueet ovat tiheämpää pistepilveä.



KUVIO 28. Valokuvan ja pistepilven yhdistelmä seinästä 1.

Kuviossa 29. on näytetty esimerkki siitä, miten valokuva auttaa hahmottamaan pisteiden merkitystä. Etenkin harvassa pistepilvessä valokuvasta on hahmottamisen kannalta paljon hyötyä. Esimerkkikeilauksen aineistossa mosaiikkikuvista koostettu panoraamakuva osoittautui pistepilveä käsiteltäessä hyödylliseksi.



KUVIO 29. Vasemman kuvan punaisista pisteistä on mahdotonta kertoa ilman valokuvaa mistä pisteet muodostuvat ja mitä ne kuvaavat.

Valokuvista ei olisi ollut vastaavaa hyötyä, mikäli aineisto olisi ollut tiheää ja se piste-
pilvi olisi pystytty värjäämään RGB-väriarvon mukaan. Jos laserkeilaus olisi tehty esim.
Trimblen GX 3D -keilaimella, olisi RealWorksissa ollut mahdollista käyttää pisteissä
valokuvasta otettuja värejä (RGB). Näin pisteet itsessään muodostaisivat valokuvamai-
sen näkymän. Tarvittavan tiheä väriarvoinen pistepilvi on hyvin havainnollinen. VX
Spatial Station ei kuitenkaan kykene tuottamaan väriarvollisia pistepilviä.

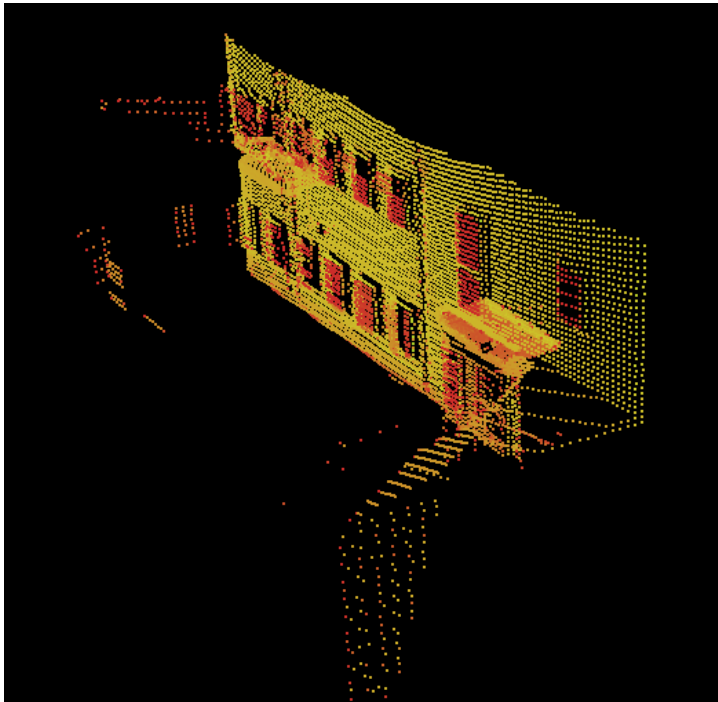
Valokuvia olisi periaatteessa mahdollista käyttää myös sellaisenaan esim. oviaukon mit-
taamiseen tai mallien piirtämiseen. Tämän tavan käyttäminen vaatisi kuitenkin lisäselvi-
tyksiä, sillä valokuvat eivät limity toisiinsa ongelmattomasti (kuva 11.). Mittatarkkuu-
den ja kuvan oikeellisuuden varmistamiseksi täytyisi kuvien limitys tarkastaa esim. ta-
kymetrimittauksella otettujen tarkkailupisteiden avulla.



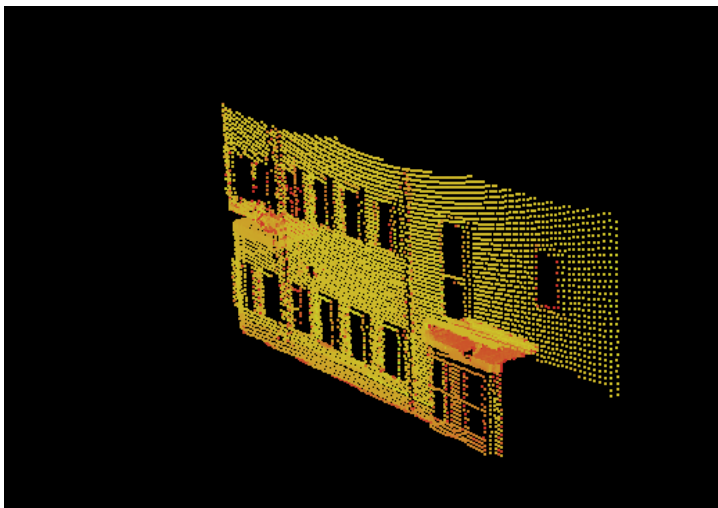
KUVA 11. Mosaiikkikuvien limityksessä havaittua ongelmaa, kuvat eivät kohtaa.

10.2 Pistepilven karsiminen

Laserkeilausaineistossa oli niin sanottuja tarpeettomia pisteitä (kuvio 30.). Tällaisia olivat esim. ikkunoiden läpi näkyvät ja sisääntulon käytävästä keilatut pisteet. Pisteitä poistettiin manuaalisesti. Tärkeää oli huomioida mitkä pisteet todella kuuluivat haluttuun aineistoon ja mitkä oli turvallista poistaa. Tähän oli hyvä käyttää apuna valokuvaa. Lopputuloksena saatiin siistitty ja rajattu aineisto (kuvio 31.).



KUVIO 30. Käsitlemätön pistepilvi. Seinä 1. takaapäin katsottuna.



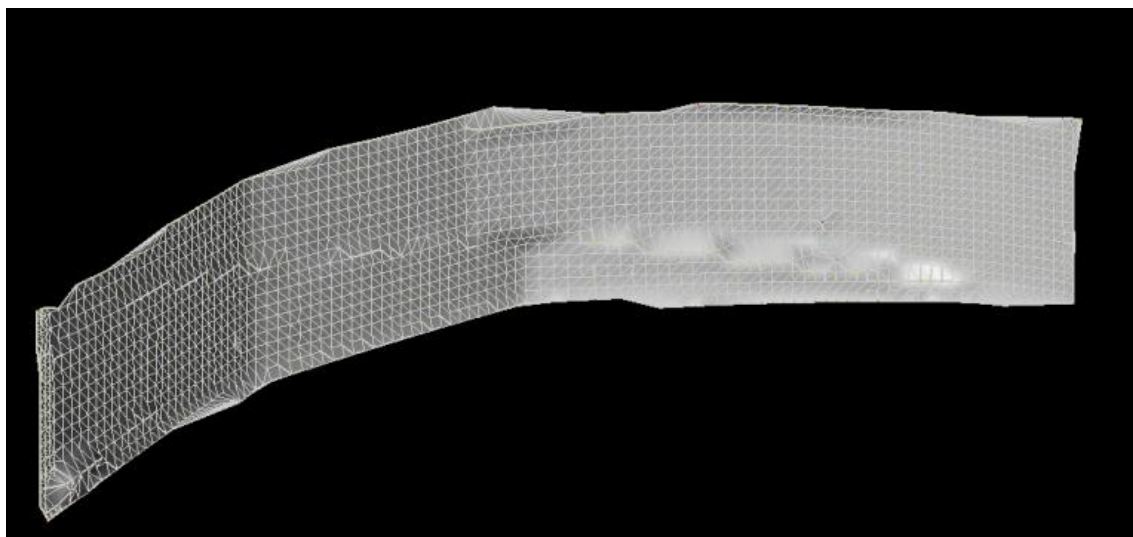
KUVIO 31. Ylimääräisiä pisteitä poistettu. Seinä 1 takaapäin katsottuna.

10.3 Ortokuva

Projektioon oikaistujen ortokuvien teko onnistui Image retrification tool -työkalulla. Oikaistut kuvat sai tallennettua tiedostomuotoon tif. ja avattua esim. kuvankatselu- tai kuvankäsittelyohjelmalla. Tämä tallennusmuoto ei vaadi avaajalta mitään erikoisia suunnitteluun liittyviä ohjelmia, vaan kuvat on mahdollista saada auki lähes millä koneella tahansa. Kuvat oli mahdollista tallentaa myös esim. dwg. ja dng. tiedostomuotoihin. Näin kuvat pystytään avaamaan AutoCADiin tai Microstationiin esim. suunnittelun pohjatiedoiksi. Esimerkkikohteen aineistosta tehtyjä ortokuvia on käytetty kappaleessa 8.3.

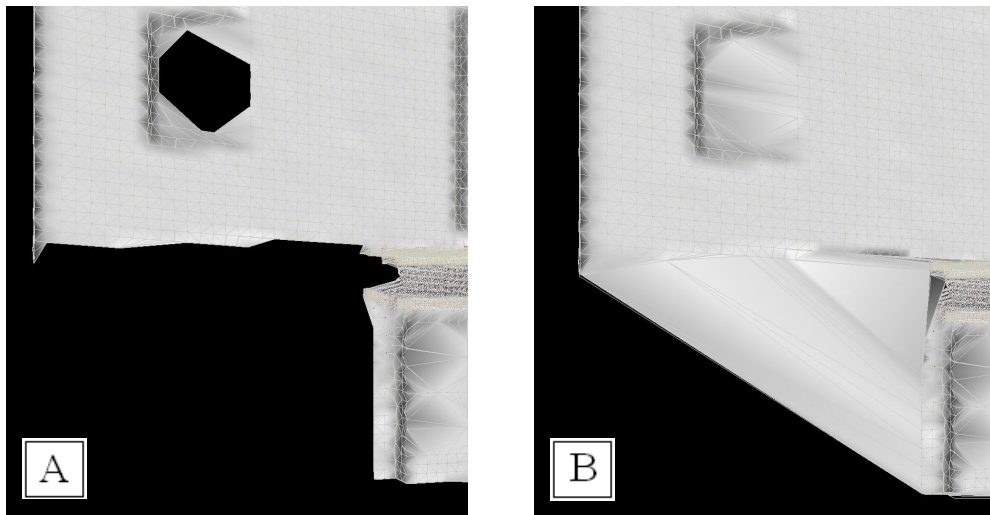
10.4 Kolmioverkko

Kolmioverkon teko onnistui Mesh creation tool -työkalulla. Ennen kolmioverkon tekoa ylimääräiset pisteet pois karsittiin. Jokainen ylimääräinen piste vaikuttaa kolmioverkkoon jollain tavalla. Kolmioverkon muodostamisessa myös halutun pinnan raja-alue on hyvä tehdä tarkasti. Esimerkki kohteessa pinnan kolmioiminen toi hyvin esiin pinnan geometrian ja sen epätasaisuudet (kuvio 32.).

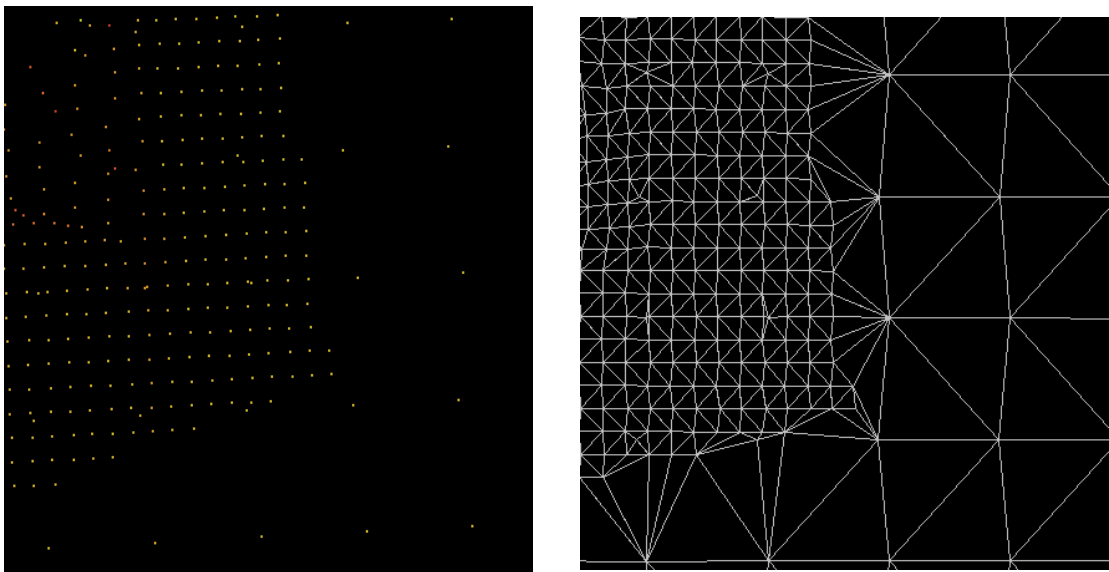


KUVIO 32. Kaarevan seinän (seinä 3.) kolmioverkon ja pinnan esikatselu RealWorksis-
sa. Seinän pinnan epätasaisuus tulee hyvin esille.

RealWorksissa on kolmioverkkoa muodostettaessa mahdollisuus käyttää Remove Discontinuities -toiminto. Automaattinen toiminto pyrkii havaitsemaan pintojen rajoja ja välttämään tyhjäksi tarkoitettujen tilojen kolmioimista (kuvio 33.). Esimerkki kohteen aineisto oli keilattu vaihtelevilla tiheyksillä. Kolmioverkkoa muodostettaessa pistepilven eri tiheyksien vaikutukset tulivat hyvin näkyviin, sillä tiheydet näkyivät suoraan kolmioverkon kolmioiden kokoeroina (kuvio 34.).



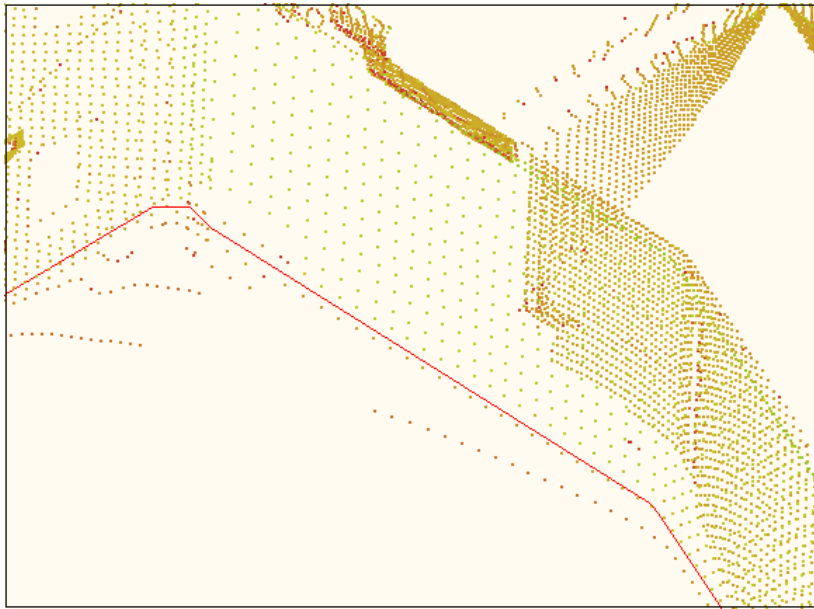
KUVIO 33. Seinän 1. sisääntulon kolmioverkko A) automaattisella suodatustoiminnolla muodostettuna ja B) ilman jatkuvuuden suodatusta.



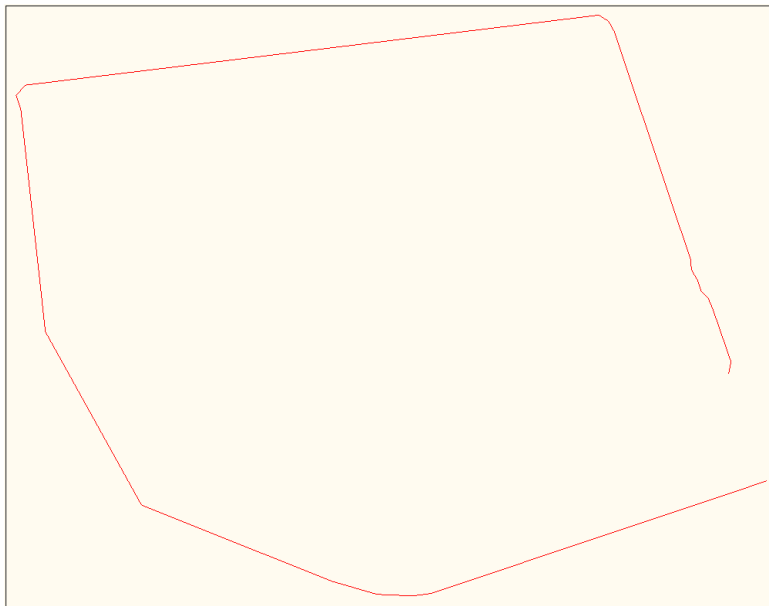
KUVIO 34. Esimerkki pistepilven tiheyden vaikutuksesta kolmioverkon kolmioiden kokoon. Seinä 1. katoksen ja seinäpinnan liitoskohta.

10.5 Pohjakuvan ja leikkauksien luominen

Pohjakuvan luomiseen on monenlaisia tapoja ja luomiseen käytettävä tapa kannattaa valita käyttötarpeen mukaan. Jos halutaan lähinnä pohjan muoto ja mitat mallintamisen pohja-aineistoksi, nopea ja helppo tapa oli ottaa aineistosta leikkaus leikkausviivan avulla (kuvio 35. ja kuvio 36.). Tätä voidaan käyttää pohjana kun luodaan kohteesta mallia. Menetelmällä on myös helppo vertailla eroja eri korkeuksien välillä.



KUVIO 35. Leikkausviiva seinässä 200 mm:n korkeudella.



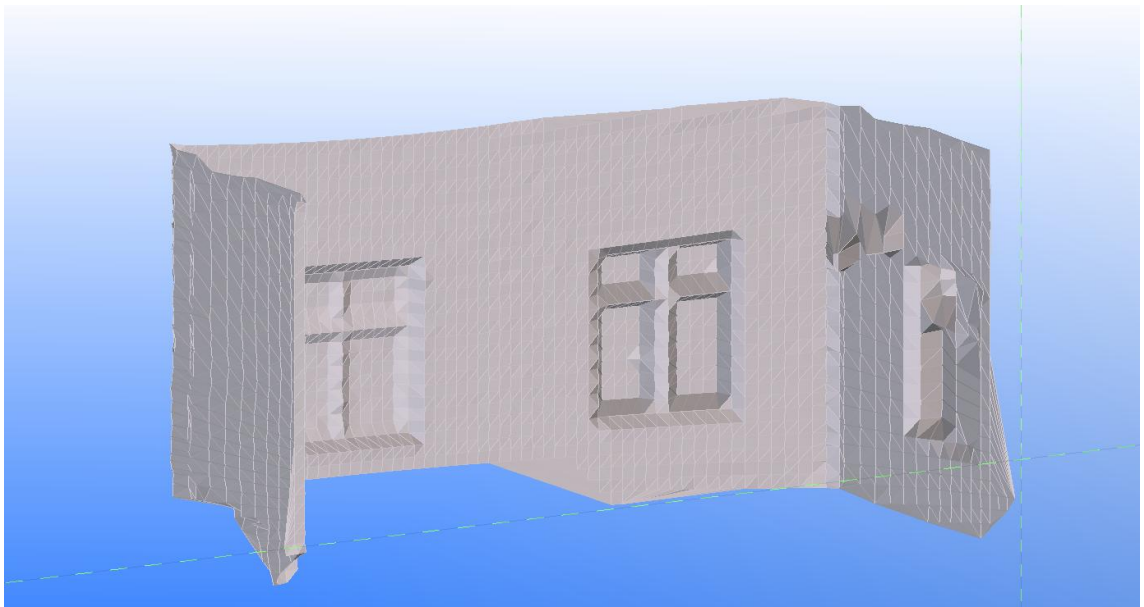
KUVIO 36. Leikkausviivan muodostama pohjakuva sisäpihasta. Leikkaus korkeudelta 200 mm.

11 AINEISTON SIIRTO SUUNNITTELUOHJELMAAN

11.1 Aineiston siirto Tekla Structuresiin

Käytössä oli TEKLA Structures 16.3. Tiedonsiirto Trimblen RealWorks -ohjelman ja Tekla Structuresin välillä osoittautui vaikeaksi tehtäväksi. Näiden ohjelmien välillä ei saatu suoraan tehtyä tiedonsiirtoa, sillä yhteistä tiedostomuotoa ei löytynyt. Trimblen RealWorks ei ainakaan vielä tue IFC-muotoa, joka olisi ollut tällaisessa tilanteessa helppoin ratkaisu. IFC on kansainvälinen rakennusalan standardi oliopohjaisen tiedon siirtoon (Wikipedia 2011). Sitä tukee monet eri suunnittelu ohjelmat esim. Tekla Structures, Archicad ja Revit Structure.

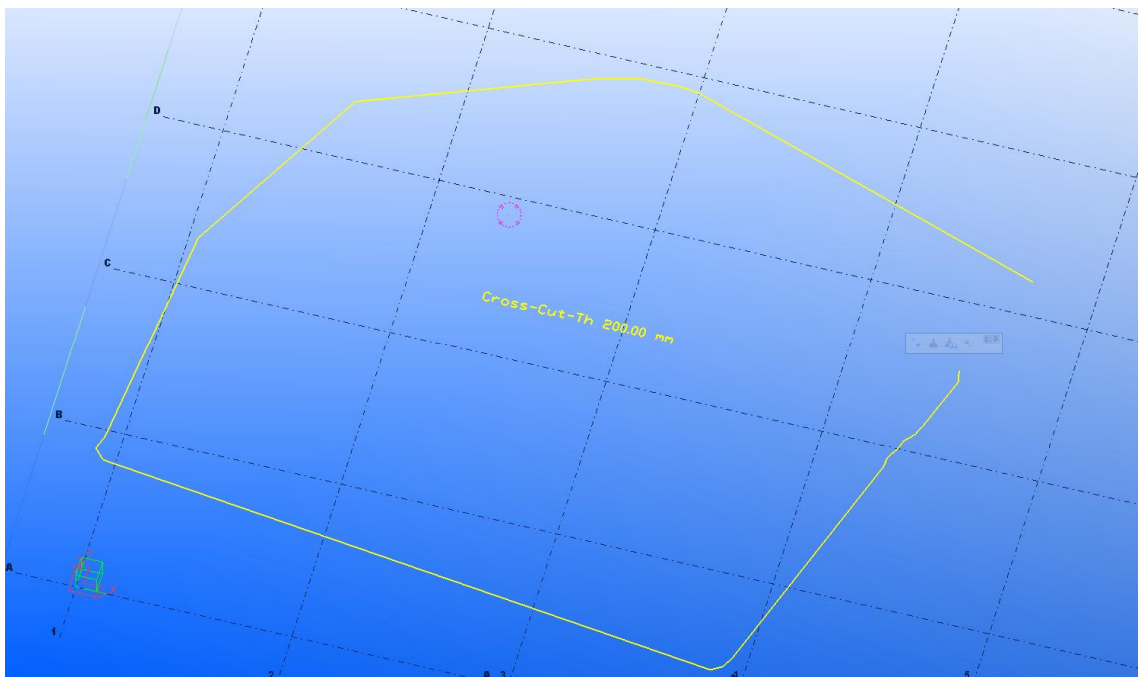
Tiedonsiirto saatiin tehtyä Reference mallina, kun käytettiin AutoCADin käyttämää dwg-muotoa. Tällä tavalla esim. kolmioverkot saatiin siirrettyä Tekla Structuresiin yhdeksi objektiksi (kuvio 37. ja kuvio 38.). Samoin saatiin siirrettyä esim. leikkausviiva kohdalta 200 mm (kuvio 39.), jota voitaisiin käyttää pohjana mallia luodessa.



KUVIO 37. Seinän 6. Kolmioverkko siirrettynä Tekla Structuresiin.



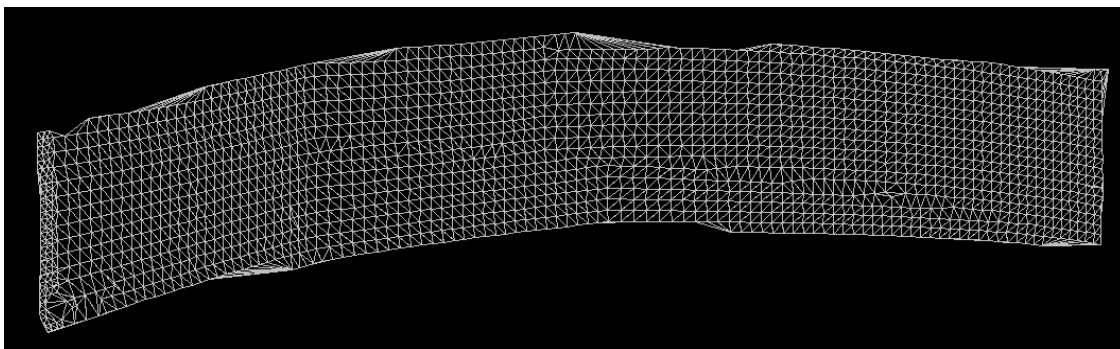
KUVIO 38. Puhdistetusta laserkeilausaineistosta tehty koko sisäpihan kolmioverkko-malli siirrettynä Tekla Structuresiin.



KUVIO 39. Sisäpihan leikkausviivasta muodostuva pohja siirrettynä Tekla Structure-siin.

11.2 Aineiston siirto AutoCADiin

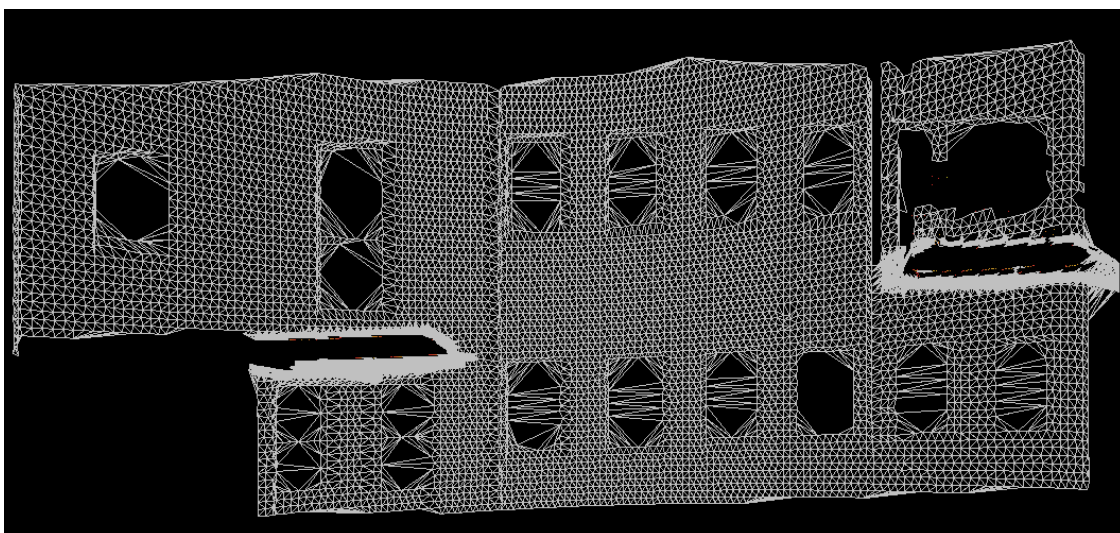
Käytössä olleeseen AutoCAD 2008 -suunnitteluohjelmistoon aineiston siirto RealWork-sistä onnistui. Ortokuvan avaaminen onnistui AutoCADissa, kuten myös kolmioverkon (kuvio 40.) tuominen. Myös pistepilven tuominen ohjelmaan onnistui. Pistepilveä on mahdollista käyttää esim. mittatietojen tarkastamiseen ja mallin luomiseen pistepilven päälle. AutoCAD 2011 -versioon on kehitetty myös pistepilveä tukevia elementtejä, joten myös tällä ohjelmalla pistepilvestä voi tulevaisuudessa olla enemmän hyötyä.



KUVIO 40. Kaarevan seinän (seinä 3.) kolmioverkko siirrettynä AutoCAD 2008 -ohjelmaan.

Suurissa, tiheään kolmioiduissa, tiedostoissa AutoCAD avasi tiedoston, mutta antoi seuraavan varoituksen (kuvio 41.):

"This AutoCAD format does not support mesh having more than 32767 vertices or faces. Do you want to export your mesh (17842 vertices, 34376 faces) in separate parts?"



KUVIO 41. Seinän 1. varoituksen antanut kolmioverkko AutoCAD 2008 -ohjelmassa.

12 RAVINTOLAN LASERKEILAUS

12.1 Mittauskohde

Aivan työn loppuvaiheilla opinnäytetyön tekijä sai mahdollisuuden osallistua myös toiseen laserkeilaukseen. Laserkeilauksen teki Geostar 16.3.2011 Tampereella. Kohteena oli Työväenyhdistyksen omistama tila, jossa oli toiminut ravintola. Tila oli tarkoitus saneerata ravintolateatteriksi. Suunnittelun teki Arkkitehtitoimisto Lassila. Ravintola koostui kolmesta eri tilasta. Nämä olivat keittiö (kuva 12.), kabinetti (kuva 13.) ja sali (kuva 14.).



KUVA 12. Keittiö



KUVA 13. Kabinetti



KUVA 14. Sali

12.2 Mittauskalusto

Keilauslaitteena oli Faro Laser Scanner Focus 3D (kuva 15.). Kyseinen laite oli opin-
näytetyötä tehtäessä uusi ja niitä ei opinnäytetyön tekemisen aikaan ollut Suomessa vie-
lä montaa kappaletta. Laite toimi kosketusnäytöllä. Faron laitteessa oli laserkeilaimen
lisäksi kamera.



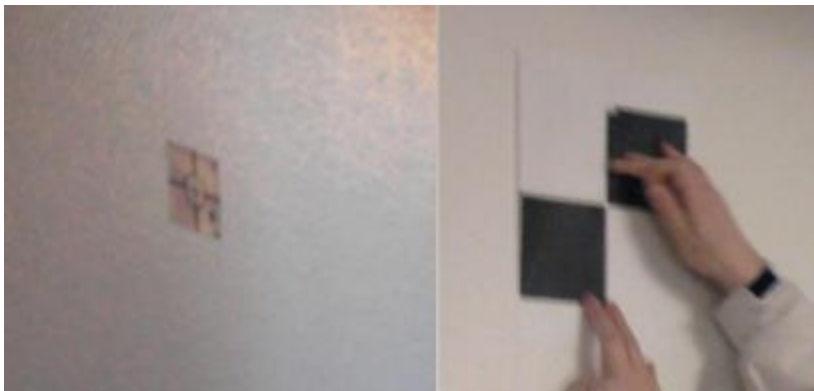
KUVA 15. Faro Laser Scanner Focus 3D -laserkeilain (Geostar).

Laitteen teknisiä tietoja:

- | | |
|--------------------|---|
| • toimintaperiaate | vaihe-eromittaus |
| • mittausetäisyys | 0,6 - 120 m |
| • keilaus nopeus | jopa 976 000 pistettä sekunnissa |
| • mittapoikkeama | 10-25 metrissä +/- 2 mm |
| • paino | 5 kg (Geostar; Faro Focus 3D Tech Sheet.) |

12.2 Mittausjärjestelyt ja mittaus

Ravintolatilaa oli etukäteen mitattu lähtöpisteitä takymetrillä. Pisteet oli merkitty tähystarroilla, joiden päälle laitettiin mustavalkoruudulliset laput tähyksiksi (kuva 16.). Näiden pisteiden avulla mahdollistettiin mittausaineiston kääntäminen koordinaatistoon myöhemmässä vaiheessa. Lähtöpisteitä oli yhteensä 9 kappaletta, mutta yksi niistä jätettiin käyttämättä. Tämä johtui pisteen sijainnista, joka oli kahden seinään liimatun taulun välissä. Tähän tarraan ei olisi ollut mahdollista asentaa isompaa tähystä tyydyttävällä tavalla, joten se päätettiin jättää käyttämättä. Lisätähyksinä käytettiin Faron omia pallomaisia tähyksiä (kuva 17.). Mittaus kesti kokonaisuudessaan alle kaksi tuntia ja se tehtiin 13:sta eri kojeasemasta.



KUVA 16. Tähystarrojen päälle laitettiin mustavalkoruudullinen A4-paperi. Ruudun keskipiste asetettiin tarkasti tähystarrojen keskelle.

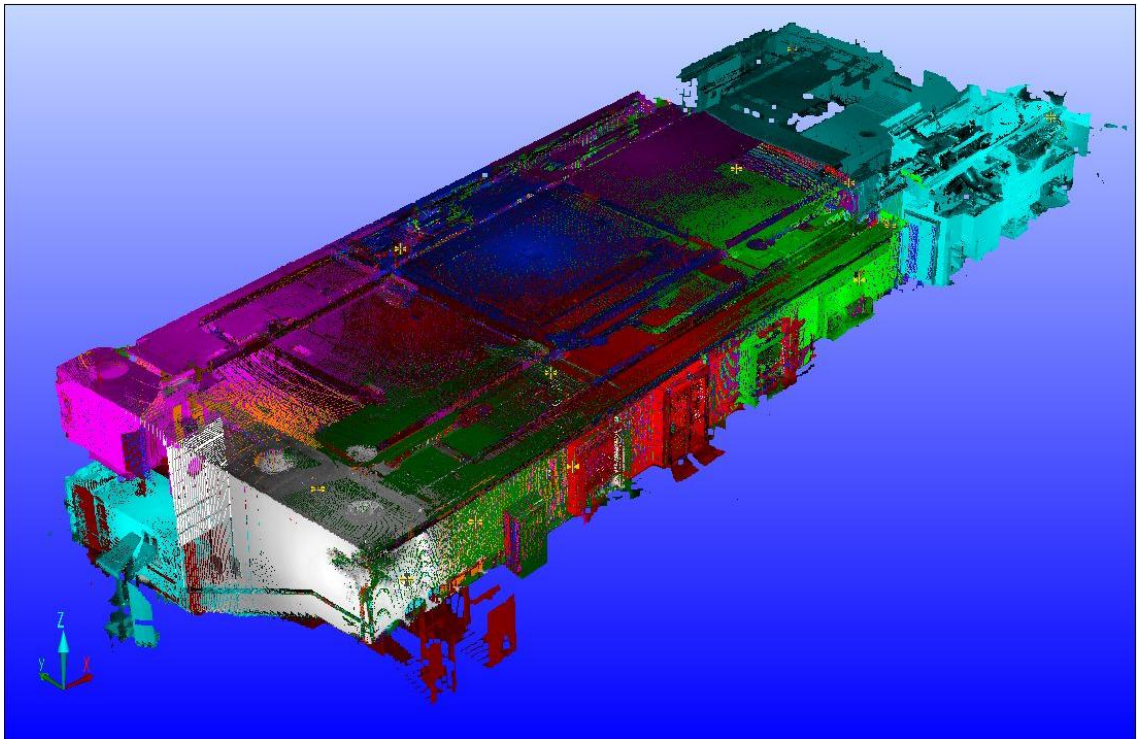


KUVA 17. Faron pallomainen tähys tuolilla.

12.3 Aineisto

Aineiston esikäsittely tehtiin Geostar Oy:ssä. Aineiston käsittelyyn käytettiin Faron omaa Faro Scene ohjelmaa. Käsittelyn jälkeen aineisto lähetettiin Arkkitehtitoimisto Lassilalle. Arkkitehtitoimiston tarkoituksena oli tehdä pistepilven pohjalta tarkka kolmiulotteinen malli. 3D-mallia oli tarkoitus käyttää saneerauksen suunnitteluun.

Laserkeilauksesta saatiin laaja aineisto (kuvio 42.). Laserkeilaus tehtiin harmaasävyintensiteetillä (kuvio 43. ja kuvio 44.), mutta Faron laserkeilaimella se olisi ollut mahdollista tehdä myös RGB-väriyksellä. Harmaasävyintensiteettinen kuva oli kuitenkin havainnollisuudessaan arkkitehdin tarpeisiin riittävä.



KUVIO 42. Koko aineisto yhdistettynä (Geostar Oy).



KUVIO 43. Harmaasävy-intensiteetillä esitettyä pistepilveä ravintolan salista. Päädyistä käynti kabinettiin (vasemmalla) ja keittiöön (oikealla). (Geostar Oy.)



KUVIO 44. Harmaasävy-intensiteetillä esitettyä pistepilveä ravintolan salista. Soittolaiva ja tanssilattiaa. (Geostar Oy.)

13 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia laserkeilauksen mahdollisuuksia ydinvoimarakentamisessa ja löytää pistepilven käsittelyyn sopiva ohjelma. Tällä ohjelmalla oli tarkoitus käsitellä pistepilvi ja saattaa se sellaiseen tilaan, missä se on siirrettävissä eteenpäin. Paino pyrittiin pitämään pistepilven käsittelyssä, mutta opinnäytetyön tekijä perehtyi myös laserkeilauksen järjestämiseen.

Laserkeilausprosessiin tutustuminen oli tärkeää, sillä aineistoa käsittelevän työntekijän on hyvä osata pyytää itselleen tarvitsemaansa aineistoa, oikealla tiheydellä. Myös eri laitteiden asettamat rajoitukset on hyvä ymmärtää. Tämän opinnäytetyön laserkeilaukseen ja pistepilven tiheyden valintaan vaikutti laitteiston muuttuminen massiivilaserkeilaimesta takymetrin ja laserkeilaimen yhdistelmään.

Laserkeilaus

Opinnäytetyötä varten tehty laserkeilaus onnistui hyvin, vaikka laitteisto ei ollut se mitä oli suunniteltu. Laserkeilaus vei laitteiston vaihtumisesta johtuen hieman ajateltua kauemmin, mutta tätä pyrittiin kompensoimaan mukautumalla laitteiston vaatimuksiin mittatiheyden muutoksin. VX-laitteisto toimi mittauksessa hyvin ja oli mittatilanteeseen riittävä, joskin alkuperäinen valinta olisi kyseiseen kohteeseen soveltunut paremmin. Trimble VX on parhaimmillaan esim. yksityiskohtien keilauksessa.

Ydinvoimarakentamiseen liittyvään laserkeilaukseen massiivilaserkeilain olisi todennäköisesti kuitenkin parempi. Tehtäessä toistuvia, tarkkuutta vaativia ja laajoja keilauksia, puolustaa nopeampi ja tarkempi laitteisto paikkaansa. Tällaisena voisi toimia esim. Faron laserkeilain, joka tuotti nopeasti suuria pistepilviä. Laite toimi putkia ja muita yksityiskohtia täynnä olevassa ympäristössä erinomaisesti.

Faron käytössä ollutta laserkeilainta ei kuitenkaan kannata verrata Trimbleltä käytössä olleeseen laitteeseen. Niiden käyttötarkoitus on alkujaankin eri. VX:n ei ole tarkoituksaan toimia massiivisena laserkeilaimena. Trimblellä on sellaisia käyttötarkoituksia varten oma GX-laserkeilaimensa, joka on vertailukelpoinen Faron laserkeilaimen kanssa.

Laserkeilauskohteet

Vuoltsun korttelin sisäpiha oli hyvä mallikohde laserkeilaukselle. Sisäpihan epäsymmetrinen muoto ja kaarevat pinnat olisi ollut hankala mitata pelkkänä takymetrimittauksena. Valokatteen suunnittelussa pistepilvestä ja siitä mahdollisesti tehtävästä mallista on todennäköisesti hyötyä.

Vuoltsun korttelin tapauksessa mitta-aineisto tulisi tarkastaa automaattisen yhdistämisen jälkeen. Tämä tulisi tehdä ennen aineiston käyttöä projektia varten. Tarkistamista varten kohteesta mitattiin laserkeilauksen yhteydessä takymetrillä tarkistuspisteitä. Varsinainen aineiston mittatarkkuuden ja oikeellisuuden varmentaminen jäi kuitenkin jatkotoimenpiteiksi opinnäytetyön aikarajojen takia.

Työväenyhdistyksen tiloissa sijaitseva ravintola oli myös erittäin hyvä laserkeilauskohde. Laserkeilauksen edut sopivat tilaan erityisen hyvin, sillä ravintolassa oli huomattavasti pieniä yksityiskohtia. Tällaisia yksityiskohtia olivat esim. lukuisat putket katossa, pilarit, baaritiskit, eri tasoissa olevat lattia-alueet, ikkunapuitteet ja niin edelleen. Perinteisemmillä mittausmenetelmillä työhön olisi kulunut useita päiviä ja lopputulos ei silti olisi ollut lähellekään niin informatiivinen kuin nyt.

Laserkeilaus osana suunnittelu- ja rakentamisprosessia

Opinnäytetyötä tehtäessä huomattiin, että laserkeilaus on suunnittelijoita ja rakentajia kiinnostava mittausmenetelmä. Se on kuitenkin vieläkin hieman tuntematon kokonaisuudessaan. Laserkeilauksen toimintatavat eivät välttämättä ole tilaajalle selviä asioita. Myös pistepilven hyödyntäminen koko kapasiteetilla on vielä paikoitellen puutteellista.

Laserkeilauksen kustannukset ovat kuitenkin tulleet jatkuvasti alaspäin. Laitekustannusten alentuminen ja laserkeilausta tarjoavien yritysten yleistymisen on lisännyt pikkuhiljaa tämän mittatavan käyttöä. Myös laitteistojen pienentyminen ja pistepilven käsitteilyyn ja pyörittämiseen vaaditun koneen kapasiteettitarpeen vähentyminen on yleistänyt laserkeilausta.

Laserkeilauksen ja pistepilven erilaisia käyttökohteita:

- Suunnittelun toimen ja toteutuneen vertailu, esim. tunnelilouhinta
- Lisärakentaminen, esim. jo olemassa olevalle sisäpihalle lasikatteen suunnittelu ja suunnitelman ”istuttaminen” ympäristöön
- Tehdassuunnittelu, esim. uuden laitteen sijoittaminen tehtaaseen ja pistepilven avulla törmäystarkastelu
- Korjausrakentaminen, esim. silloissa vauriokohtien paikallistaminen ja korjaussuunnittelun helpottaminen
- Teollisuusalueiden mallinnus, esim. vuosien saatossa laajentuneet alueet
- Maaston mallinnus
- Kaupunkien mallinnus
- Historiallisten kohteiden tietojen säilöminen, esim. kirkot ja niiden yksityiskohdat
- Elinkaariajattelu, pistepilven avulla pystytään esim. rakennuksen elinkaaren aikana eri vuosina vertailemaan kuntoa ja mahdollisia vaurion syntymisiä jne.

Laserkeilaus on rakentajille ja suunnittelijoille sanana jo usein tuttu. Kuitenkin todellinen ymmärrys sen eri sovelluksista ja käyttömahdollisuuksista on toisinaan puutteellista. Tarkkaa tarvetta tai käyttötarkoitusta aineistolle ei aina osata määrittää. Laserkeilauksen ja pistepilven käsittelyn prosessissa jokaisen osapuolen olisi hyvä tietää toistensa työvaiheet vähintään auttavasti.

Suunnittelijan on hyvä ymmärtää laserkeilauksen tekniikasta ja laitteistojen vaatimuksista niin paljon, että hän osaa pyytää tarvitsemaansa aineistoa tarvitsemassaan muodossa. Tällöin laserkeilaajan on helpompi kohdentaa keilaus vastaamaan suunnittelijan tarpeita. Näin pistepilven käsittelijälle ei tule turhaa aineistoa. Toisaalta näin käsittelijä myös tietää mitä aineistolta vaaditaan ja mihin työhön sitä tullaan käyttämään. Tämä kaikki nopeuttaa prosessin etenemistä, kun turhilta työvaiheilta ja -tehtäviltä vältytään.

Laserkeilauksen soveltuvuus ydinvoimarakentamiseen

Laserkeilaus, pistepilven käsittely ja 3D-mallinnus soveltuvat työmenetelminä hyvin myös ydinvoimarakentamiseen. Sen hyödyntämismahdollisuudet ovat laajat. Laserkeilausta voidaan käyttää esim. paikalleen mittauksissa, mittatarkkuuden tarkastelussa ja laadunvalvonnassa. Jo valmiissa kohteessa laserkeilausta voidaan käyttää dokumentointiin ja rakennusten kuntokartoituksen välineenä. Vertailu eri aikoina keilattujen pistepilvien välillä tuo nopeasti esiin rakenteissa mahdollisesti tapahtuneita muutoksia. Korjaussuunnittelun tukena laserkeilausaineiston käyttö voisi olla perusteltua ja suunnittelutyötä helpottavaa, niin ydinvoimarakentamisessa kuin muissakin saneerauskohteissa.

Erityisesti laserkeilauksesta voisi olla hyötyä merivesirakenteiden suunnittelussa ja niiden toteutuksen aikaisessa tarkemittauksessa sekä laadunvalvonnassa. Merivesipiiri on ydinvoimarakentamisessa yksi tärkeistä osa-alueista, sillä ydinvoimalassa tarvitaan vettä turbiinin jäähdytykseen. Yleensä voimalat onkin rakennettu meren ääreen ja jäähdytys on toteutettu merivedellä. Näin on toimittu myös Suomessa.

Ydinvoimaloiden alla risteilevien tunneleiden suunnitteluun, louhintaan ja laadunvalvontaan laserkeilauksesta ja pistepilvien käytöstä on hyötyä. Tunnelirakenteissa laserkeilausta voidaan hyödyntää esim. suunnitellun louhinnan ja toteutuneen louhinnan vertailuun. Tähän laserkeilaus tuo hyvän, aikaa säästävän, työvälineen. Lisäksi Suomessa ydinvoimalat pyritään perustamaan kallion varaan. Periaatteessa siis koko laitosalueen louhintatoteuma on mahdollista laserkeilata. Tätä toteumaa voidaan käyttää suunnittelun lähtötietona.

Suunnittelu ja rakentamisvaiheen lisäksi laserkeilauksen käyttökohteena voi olla esim. merivesitunneleihin kohdistuvien rasiusten aikaansaamat kulutukset. Rakenteiden ja tunnelien käytönaikainen kunnontarkkailu voidaan suorittaa laserkeilauksella ja eri aikoina keilattujen pistepilvien keskinäisellä vertailulla. Rakenteiden elinkaaren aikaiseen tarkkailuun voidaan käyttää laserkeilausta ja pistepilven avulla korjausta vaativat vauriokohdat saadaan näkyviin suunnittelijan työpöydälle.

Pistepilven käsittely

Pistepilven käsittely onnistui asetettujen tavoitteiden mukaisesti. Kuitenkaan Trimblen RealWorks -ohjelman kunnollinen oppiminen ei annetuissa aikarajoissa onnistunut. Monet toiminnot jäivät vielä kokeiluasteelle ja esim. pintojen luomisessa kohdattiin ongelmia. Pinnat jätettiin ajanpuutteen vuoksi lopulta pois opinnäytetyöstä. Jatkossa pintojen luomiseen kannattaa kuitenkin perehtyä paremmin.

Laaduntarkkailuun ja esim. pistepilven ja kuvien yhteensovittamisen tarkastamiseen tulisi kiinnittää jatkossa huomiota. Nyt ohjelman tekemät aineiston automaattiset yhdistelyt hyväksyttiin suoraan. Aineistossa saattaa kuitenkin olla virheitä tai ongelmia, kuten mosaiikkikuvien yhteensovittaminen osoitti. Tässä opinnäytetyössä ei kuitenkaan ollut aikaa perehtyä virheiden löytämiseen ja niiden korjaamiseen enempää. Jatkossa näihin asioihin tulee kuitenkin kiinnittää huomiota.

Työväenyhdistyksen omistamissa tiloissa sijaitsevan ravintolan aineistoa ei tässä työssä käsitelty mitenkään. Pistepilven laajuus oli hyvin erilainen kuin Vuoltsun sisäpihan esimerkkikohteessa. Geostar käsitteli pistepilven Faro Scene ohjelmalla. Ohjelmassa on mm. automaattisia harvennus- ja suodatustoimintoja.

Pistepilven käytön mahdollisuudet

Laserkeilauksessa ja pistepilven tuottamisessa sekä sen mallintamisasteessa tulee aina huomioida työn lähtökohdat ja tilaavan asiakkaan tarpeet. Turhan tarkkaa ja tiheää pistepilveä olisi hyvä välttää, sillä ajankäytöllisesti se ei ole järkevää. Mikäli pistepilven tarkkuuden ja koon ei välttämättä tarvitse olla paras mahdollinen, on turha kasvattaa tiedostokokoa ja vaikeuttaa eri osapuolten työskentelyä.

Pistepilven loppukäytön muoto ja tarve tulee aina päättää yksilöllisesti jokaiselle projektille. Kolmiulotteisen mallin luominen ei välttämättä kaikissa tapauksissa ole perusteltua ja mikäli malli ei tuo kyseessä olevaan projektiin mitään olennaista hyötyä, ei sitä tietenkään kannata tehdä. Lisäksi kolmiulotteisen mallin tekeminen pistepilven käsittelyyn tarkoitetuilla ohjelmilla ei opinnäytetyön tekijän mielestä ole välttämättä kovinkaan kannattavaa. Nämä ohjelmat ovat kuitenkin ensisijaisesti tarkoitettu pistepilven käsittelyyn ja niissä olevat mallinnusominaisuudet ovat usein alkeellisia verrattaessa varsinais-

siin mallinnusohjelmiin. Mallintamisen tekemistä vasta suunnitteluohjelmassa puoltaa myös tiedonsiirrossa olevat hankaluudet ja tarve mallintaa malli joka tapauksessa uudelleen jatko-ohjelmassa, jos tavoitteena on BIM-malli.

Pistepilven käytössä ei tulisi keskittyä yksinomaan mallien tekemiseen, vaikkakin ne ovat usein näyttäviä. Myös muu käyttö voi olla täysin perusteltua ja huomattavasti järkevämpää. Käyttötarkoituksen määrittävät yksittäisen projektin vaatimukset. Ei kuitenkaan kannata unohtaa pistepilveä käyttävän suunnittelijan asiantuntemuksen tason vaikutusta pistepilven monipuoliseen käyttöön.

Tämän opinnäytetyön tulosten perusteella mallintamiseen ja muuhun visualisoivaan toimintaan ei kannata käyttää turhaa aikaa pistepilven käsittelyyn tarkoitettussa ohjelmassa. Malli joudutaan usein tällaisissa tapauksissa tekemään kahteen kertaan. Esim. Tekla Strukturiin siirrettäessä mallista tulee yksi objekti, mikä ei siis ole älykkään tietomallin kaltainen. Arkkitehdille olisi kuitenkin siis mahdollista lähettää aineistosta tehty 3D-malli esim. dwg-muodossa. Tekla Strukturia käytettäessä kannattaisi enemmän siirtää vain esim. pohjakuva tai yksinkertainen pintamalli, jonka perusteella varsinainen BIM-malli olisi mahdollista tuottaa nopeasti ja oikeilla mitoilla.

Pistepilven käsittely ja siihen liittyvät ohjelmat

Pistepilven käsittelyssä tärkeää on tarkkuus ja huolellisuus. Pistepilveä käsittelevien ihmisten täytyy tietää miten pilvi käsitellään nopeasti mutta varmasti. Mittatarkkuuden säilyminen on ensiarvoisen tärkeää. Käsittely ja toimenpiteet tehdään tilaajan vaatimusten ja tarpeiden mukaan. Pistepilven käsittelyyn käytettävän ohjelman valintaan vaikuttaa mm. pistepilven laatu, käytetty laitteisto, jatkokäytön tarve ja jatkokäyttöön liittyvät ohjelmat.

Mallintamisessa vaarana on se, että mallin eteen tehdään ns. tuplatyö. Jos lopputulokseksi halutaan älykäs tietomalli, ei pistepilvestä tehty 3D-malli toimi vaaditulla tavalla. Pistepilveä voidaan esim. käyttää mallintamisen pohjana, mutta pistepilveä ei pystytä yleensä suoraan mallintamaan älykkääksi. Ohjelmistojen yhteensopivuus, eli tiedon siirron onnistuminen eri ohjelmien välillä ja ohjelmien keskinäinen tuki, luovat pohjaa järkevälle BIM-mallintamiselle.

Pistepilven käsittelyyn tarkoitetut ohjelmat kehittyvät koko ajan kovaa vauhtia. Saadakseen pistepilvien käytöstä kaiken hyödyn irti, kannattaa suunnittelijan pyrkiä pysymään ajan tasalla ohjelmistokehityksessä. Ohjelmissa on vielä joitakin rajoituksia ja ongelmia, esim. pistepilvien suuresta koosta seuraa kovat vaatimukset käytettävän koneen varustelulle. Suuri koko saattaa myös hidastuttaa pilven käsittelyä ja pyörittämistä. Tämä ongelma on kuitenkin vähentynyt ohjelmien ja laitteistojen kehityksen myötä. Ohjelmistokehityksestä huolimatta tiedon siirto eri ohjelmien välillä ei vielä välttämättä aina onnistu, tai siirron lopputulos ei ole toivotun mukainen.

Opinnäytetyön alkuperäisenä ideana oli tutustua pistepilven avulla tehtävään tunnelin 3D-mallinnukseen. Tämä todettiin kuitenkin nykymenetelmin hyvin hankalaksi. Mallinnusohjelmilla on vaikea mallintaa tunnelimaisesta pistepilvestä tarkkaa solidia mallia, etenkin siten ettei se veisi kohtuuttomasti aikaa. Lisäksi mittatarkkuus saattaa kärsiä prosessin aikana. Kuitenkin esim. Posiva käyttää ONKALossa mallintamista apuna ydinvoimarakentamisen laatuvaatimusten saavuttamiseksi.

AutoCAD 2011:sta lisätty tuki pistepilven suoralle käytölle vaikutti mielenkiintoiselta. Pistepilven käyttömahdollisuuksiin AutoCAD 2011:sta kannattaa jatkossa tutustua tarkemmin. Sen avulla voitaisiin mahdollisesti ratkaista aineiston mallintamiseen liittyvät ongelmat. Eli aineistoa ei siis tarvitsisi mallintaa pistepilvenkäsittelyohjelmalla, vaan se voitaisiin, suodatuksen ja siivoamisen jälkeen, siirtää suoraan AutoCADIin ja mallintaa kokonaisuudessaan vasta siellä.

Tiedon siirto

Tiedonsiirto eri ohjelmien välillä oli odotusten mukaisesti haastavaa. Tiedonsiirto kuitenkin toimi etenkin dwg-muodossa hyvin. Tekla Structuresiin tiedonsiirto ei onnistunut kuin referenssimallina. Tiedonsiirron toiminta ja eri mahdollisuuksia kannattaa jatkossa tutkia enemmän, sillä tässä opinnäytetyössä päästiin raapaisemaan vasta pintaa. Tiedonsiirtoa olisi hyvä testata jatkossa ainakin Microstationiin ja Terrasolidin sovelluksiin.

LÄHDELUETTELO

Areva. Areva in Finland: the Facts. Luettu 14.2.2011. Tulostettu 14.2.2011.
<http://www.areva.com/EN/group-1409/finland-the-first-country-to-operate-a-generation-iii-reactor.html>

Eduskunta. Ydinvoiman lisärakentamisen käsittely eduskunnassa. Luettu 21.10.2010. Tulostettu 7.2.2011.
<http://web.eduskunta.fi/Resource.phx/eduskunta/ajankohtaista/ydinvoima.htx>

Euroopan komissio. Mitä Euroopassa tutkitaan. Fuusioenergia. Pitkän aikavälin strategia. Luettu 28.3.2011. Tulostettu 28.3.2011.

Faro. 2010. Faro Laser Scanner Focus 3D. Tech Sheet. 10.5.2010.

Fennovoima. 2011a. Reaktorin toimittaa Areva tai Toshiba. Luettu 9.2.2011. Tulostettu 9.2.2011. <http://www.fennovoima.fi/hanke/reaktorivaihtoehdot>

Fennovoima. 2011b. Selvitykset Pyhäjoen ja Simon seutukunnista valmistuneet. Julkaistu 19.1.2011. Luettu 9.2.2011. Tulostettu 9.2.2011.
<http://www.fennovoima.fi/tiedotteet/ajankohtaista/selvitykset-pyhajoen-ja-simon-seutukunnista-valmistuneet>

Fennovoima. 2011c. Ydinjäte loppusijoitetaan turvallisesti. Luettu 11.2.2011. Tulostettu 11.2.2011. <http://www.fennovoima.fi/hanke/ydinjatehuolto-ja-ydinpolttoaine>

Fennovoima. 2010. Eduskunta antoi Fennovoimalle periaatepäätöksen. Julkaistu 1.7.2010. Luettu 9.2.2011. Tulostettu 9.2.2011.
<http://www.fennovoima.fi/pressi/tiedotteet/tiedotteet/eduskunta-antoi-fennovoimalle-periaatepaatoksen>

Fortum. 2010. Suomalaista ydinvoimaa vuodesta 1977. Päivitetty 21.10.2010. Luettu 28.1.2011. Tulostettu 9.2.2011.
<http://www.fortum.fi/document.asp?path=14020;14028;14029;14055;47524;47525;46654;53244;53271&level=4>

Fortumin Loviisan voimalaitos. Voimalaitosiesite. Loviisa: Fortum Generation.

Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen seura. 2005. Ohjeita ortokuvien tuotannolle ja käytölle Suomessa. Julkaisu 1/2005.

Geodeettinen laitos. 2007. Kaukokartoitus ja fotogrammetria, tutkimushankkeita. Laserkeilauksen menetelmät ja algoritmit. Muokattu 21.3.2007. Luettu 7.2.2011. Tulostettu 7.2.2011. <http://www.fgi.fi/osastot/tutkimus.php?osasto=2>

Geostar Oy. Faro Scanner Focus 3D. Luettu 18.3.2011. Tulostettu 18.3.2011.
<http://www.geostar.fi/>

Geotrim Oy. 2007. Trimbleltä uutta teknologiaa – Trimble VX Spatial Station. Julkaistu 16.2.2007. Luettu 19.11.2010. Tulostettu 7.4.2011.
<http://www.geotrim.fi/News.asp?id=160>

Haggrén, H. 2002. Fotogrammetrian yleiskurssi. Maa-57.301. Luento 12: Kuvien oikaisu. Aalto-yliopisto, Teknillinen korkeakoulu, Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen laboratorio. 17.11.2002. Luettu 28.2.2011. Tulostettu 1.3.2011.
<http://foto.hut.fi/opetus/301/luennot/12/12.html#Ortokuvaus>

Heikkilä, R. Karjalainen, A. Pulkkinen, P. Haapa-aho, E. Jokinen, M. Oinonen, A. & Jaakkola, M. 2005. Siltojen 3D-suunnittelu- ja mittausprosessin kehittäminen ja käyttöönottoaminen (Älykäs silta). Tiehallinnon selvityksiä 12/2005.

Heiska, N. 2009. Universaaliskanneria etsimässä, eli miten valita maalaserkeilain. Maankäyttö 1/2009, 30-35.

Hyvinvointia ydinsähköllä 2009. Eurajoki: Teollisuuden Voima Oyj.

Hyypä, H., Ahlavo, M. & Kukko, A. 2009. Lähilaserkeilauksella kohde kolmiulotteiseksi. Maanmittauslaitos. Positio 1/2009, 18-21.

Hyypä, J. & Hyypä, H. 2007. Kansallisen laserkeilauksen mahdollisuudet. Maankäyttö 1/2007, 6-8.

Joala, V. 2003. Laserkeilaimien toimintaperiaatteet ja kalibrointi. Maanmittaustieteiden Seuran julkaisu 40 – Maanmittaustieteiden päivät 2003. Helsinki: Maanmittaustieteiden Seura ry.

Joala, V. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Leica Oy. Julkaisu 30.11.2006. Luettu 27.5.2010. Tulostettu 7.2.2011.
http://www.leica.fi/Geo/lisatietoa/HDS_Laserkeilaus/pdf/Laserkeilauksenperusteita.pdf

Joala, V. 2007. Terrestriaalinen laserkeilaus. Esimerkit - Leica. Leica Nilomark Oy. 5.12.2007. Luettu 25.2.2011. Tulostettu 25.2.2011.
http://www.tkk.fi/Yksikot/Rakennus/Tie/Opiskelu/Kurssit/public/yhd-10-351/AUT_luento_1207.pdf

Kallio, H. 2011. A-Insinöörit Suunnittelu Oy. Keskustelu Tampereella 21.2.2011.

Kapseleissa kallioon. 2008. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus Olkiluodossa. 2008. Eurajoki: Posiva Oyj.

Koski, J. 2001. Laserkeilaus – uusi ulottuvuus paikkatiedon keräämiseen. Maankäyttö 4/2001, 24-26.

Koskinen, J. 2009. Spatial Imaging – SI, kuvantaminen, skannaus. Luettu 17.12.2010. Tulostettu 7.2.2011.
<http://www.tampere.fi/ytoteto/kaupunkimittaus/maastotietopalvelu/ikaalinen09/koskinen.pdf>

Kukko, A. 2005. Laserkeilaimen valinta lähifotogrammetrisiin mittaustehtäviin. Maa-57.290. Aalto-yliopisto, Teknillinen korkeakoulu, Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen laboratorio. Fotogrammetrian erikoistyö.

- Lamppu, M. 2008. 2D-CAD ja 3D-CAD. Tampereen teknillinen yliopisto. Arkkitehtuurin osasto. Luettu 21.2.2011.
http://www.tut.fi/units/arc/aml/sisaltosivut/opetus/amp/amp_pdf/2D-CAD_3D-CAD.pdf
- Lappalainen, K. Maastokartoitusaineiston visualisointi. Ramboll Finland Tampere. Luettu 21.2.2011. Tulostettu 21.2.2011.
<http://www.tampere.fi/ytoteto/kaupunkimittaus/maastotietopalvelu/ikaalinen10/lappalainen.pdf>
- Lehtonen, P. 2010. Terrasolid toimii maailmanlaajuisesti. Maankäyttö 4/2010, 11-13.
- Liimatainen, A. 2010. Rakennusten 3D-mittaus ja pistepilven prosessointi jatkosuunnittelua varten. Savonia ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Loviisan voimalaitos. Voimalaitosesite. Loviisa: Fortum Generation.
- Lähdemäki, M. 2010. Laserkeilaus Onkalossa. Sähköpostiviesti. mati.lahdemaki@posiva.fi. Tulostettu 7.2.2011.
- Metsäkeskus, Keski-Suomi. 2010. Metsävaratiedon keruu uudistuu. Inventointi etenee suunnitellusti Keski-Suomessa. 15.11.2010. Tiedote. Jyväskylä: Metsäkeskus.
- Novapoint. Kolmioverkko. Luettu 21.2.2011. Tulostettu 21.2.2011.
http://wikinova.info/doku.php/fi:np:base:menu:terrain_model:triangle_model_and_our
- Penttilä, H. 2005. 3-uloitteinen CAD - mallinnus ja visualisointi. 11010 Arkkitehtuurimedien perusteet. 3.9.2005. Tampereen teknillinen yliopisto, Arkkitehtuurin osasto. Luettu 21.2.2011. Tulostettu 21.2.2011.
http://www.tut.fi/units/arc/aml/sisaltosivut/opetus/amp/amp_oppimat/l08cad2.htm
- Perustietoa Olkiluoto 3:sta. 2009. Toimintaperiaate, käyttö, turvallisuus. Tekninen esite. Eurajoki: Teollisuuden Voima Oyj.
- Pohjois-Karjalan Ammattikorkeakoulu. Särnä-projekti. Älykkään elinkaarta palvelevan vapaa-ajan asunnon virtuaalinen mallintaminen Kolin loma-asuntomessuille. Virtuaalimalli. Luettu 21.2.2011. Tulostettu 21.2.2011.
<http://www.ncp.fi/sarna/virtuaalimalli.html>
- Posiva. Loppusijoituslaitos. Luettu 14.2.2011. Tulostettu 3.1.2011.
<http://www.posiva.fi/loppusijoitus/loppusijoituslaitos>
- Ruohonen, S. 2007. Faro LS 880 –laserkeilain vapaan keilainaseman menetelmässä. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Rämö, S. 2010. Ydinvoimalaitosten merivesirakenteiden säilyvyysuunnittelu. Metropolia. Insinöörityö.
- STUK. Uudet YVL-ohjeet. Luettu 28.3.2011. Tulostettu 28.3.2011.
- STUK. 2009a. Kiehutusvesireaktorin voimalaitosprosessi. Päivitetty 27.4.2009. Luettu 11.2.2011. Tulostettu 11.2.2011.

http://www.stuk.fi/ydinturvallisuus/ydinvoimalaitokset/ydinvoimalaitoksen_toiminta/sahkontuotanto/kiehutovesireaktori/fi_FI/kiehutovesireaktori/

STUK. 2009b. Painevesireaktorin voimalaitosprosessi. Päivitetty 27.4.2009. Luettu 11.2.2011. Tulostettu 11.2.2011.

http://www.stuk.fi/ydinturvallisuus/ydinvoimalaitokset/ydinvoimalaitoksen_toiminta/sahkontuotanto/fi_FI/painevesireaktori/

STUK. 2009c. Ydinvoimalaitosohjeet (YVL). Päivitetty 16.12.2009. Luettu 28.5.2010. Tulostettu 7.2.2011.

http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/viranomaisohjeet/fi_FI/yvl/

Suominen, T. 2007. Barokkikirkko mallinnettiin Latviassa laserkeilauksella. Paikkatietopalveluille uusia käyttösovelluksia. Maankäyttö 4/2007, 20-22.

Tampereen kaupunki. 2011a. Kuva 5. Liittyy asemakaavakarttaan nro 7992. Luettu 3.11.2010. Tulostettu 7.2.2011.

<http://www.tampere.fi/ytoteto/aka/nahtavillaolevat/7992/7992kuva5.pdf>

Tampereen kaupunki. 2011b. Ratinan kauppakeskuksen ja stadionin asemakaavan muutoksen selostus, kartta nro 7992. Luettu 3.11.2010. Tulostettu 7.2.2011.

<http://www.tampere.fi/ytoteto/aka/nahtavillaolevat/7992/selostus.html>

Tampereen kaupunki. 2006. Havainnepiirros 1:1000. Liittyy asemakaavakarttaan nro 7992. Päiväty 7.9.2006. Luettu 3.11.2010. Tulostettu 11.2.2011.

<http://www.tampere.fi/ytoteto/aka/nahtavillaolevat/7992/7992hav.pdf>

Tampereen kaupunki. 2007. Kaavakartta. Asemakaavaehdotus. 21.3.2007. Luettu 11.3.2011. Tulostettu 11.3.2011.

<http://www.tampere.fi/ytoteto/aka/nahtavillaolevat/7992/7992.pdf>

Tekla. 2011. Teklan ohjelmistotuotteet. Luettu 4.3.2011. Tulostettu 4.3.2011.

<http://www.tekla.com/FI/PRODUCTS/Pages/Default.aspx>

Trimble RealWorks. 2010 Software version 6.5.2. Released Notes. July 2010. Ohio, USA: Trimble.

Terrasolid. 2010. Sirén, J. TerraStereo. 2010. Powerpoint-esitys. Terrasolid-käyttäjäpäivät, Kalastajantorppa, Helsinki. 14.-15.12.2010.

Trimble GX 3D Scanner. Datasheet. Raunheim, Germany: Trimble Germany GmbH.

Trimble RealWorks Survey –ohjelma. Tekninen kuvaus. Raunheim, Saksa: Trimble Germany GmbH.

Trimble VX Spatial Station. Datasheet. Raunheim, Germany: Trimble Germany GmbH.

Topgeo. Mitä koneohjaus on? Luettu 21.2.2011. Tulostettu 21.2.2011.

http://www.topgeo.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=121&Itemid=126

Virtanen, H. 2009. Ydinvalvonta tiivistää yhteistyötään. STUK. Alara 4/2009, 8-10.

Vähäkainu, P. 2011. Pistepilvet koneohjaus, tasaussuunnittelu ja AutoCAD Civil 3D. AutoCAD tietoisuus. 16.2.2011. Tampere. Future CAD Oy.

Wikipedia 2011. IFC. Muokattu 21.02.2011. Luettu 14.3.2011. Tulostettu 14.3.2011. <http://fi.wikipedia.org/wiki/IFC>

Witikainen, M. 1995 Ympäristömallianimaation tiedonkeruu fotogrammetrisesti. Aalto-yliopisto, Teknillinen korkeakoulu, Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen laboratorio. Fotogrammetrian, kuvan tulkinnan ja kaukokartoituksen erikoistyö.

World Nuclear Association. 2011. Advanced Nuclear Power Reactors. Päivitetty 27.1.2011. Luettu 4.2.2011. Tulostettu 4.2.2011. <http://www.world-nuclear.org/info/inf08.html>

World Nuclear Association. 2010a. Nuclear Power Reactors. Päivitetty 10/2010. Luettu 4.11.2010. Tulostettu 4.2.2011. <http://www.world-nuclear.org/info/inf32.html>

World Nuclear Association. 2010b. Outline History of Nuclear Energy. Päivitetty 6/2010. Luettu 4.11.2010. Tulostettu 4.2.2011. <http://www.world-nuclear.org/info/inf54.html>

Ydinenergilaki 11.12.1987/990.

Ydinvoimalaitosyksikkö Olkiluoto 3. Tekninen esite. 2008. Eurajoki: Teollisuuden Voima Oyj.

Ydinvoimalaitosyksikön rakentaminen Olkiluotoon. Yleispiirteinen selvitys. OL4. 2008. Eurajoki: Teollisuuden Voima Oyj.

Ydinvoimalaitosyksiköt Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2. Tekninen esite. 2007. Eurajoki: Teollisuuden Voima Oyj.

Öster, H. 2009 Ydinvoimalarakentaminen vaatii asennetta. STUK. Alara 1/2009, 9-11.

3D Render. Virtuaalimalli. Luettu 21.2.2011. Tulostettu 21.2.2011. http://3drender.fi/dream/ssp/vrshow/vrshow_fi.html